ROHDE&SCHWARZ

Unternehmensbereich
Meßgeräte und Meßsysteme

Beschreibung

SWR BRIDGE
ZRB2 (50 Ω)

373.9017.52
373.9017.53
373.9017.55
373.9017.56

SWR BRIDGE
ZRB2 (75 Ω)

802.1018.73
802.1018.76

ENGLISH MANUAL FOLLOWS FIRST COLOURED DIVIDER
LA TRADUCTION FRANÇAISE SUIT LE TEXTE ANGLAIS

MP MASTER
MA23813

Printed in the Federal
Republic of Germany

1007.7194.35 - 1

ROHDE&SCHWARZ

ROHDE&SCHWARZ GmbH & Co. KG
W-8000 München 80 · Mühldorfstraße 15 · Postfach 80 14 69
Tel. (089) 41 29-0 · Int. +(49 89) 41 29-0
Telefax (089) 41 29-21 64 · Int. +(49 89) 41 29-21 64
Telex 5 23 703 (rs d) · Teletex 897 487 = RSD

Zweigniederlassungen — Subsidiaries in Germany

Zweigniederlassung Dresden Fetscherstraße 72 **O-8019 Dresden**	Tel. (00 37-51) 45 68-2 39 Telex 24 58 (pcc dd)
Zweigniederlassung Berlin Ernst-Reuter-Platz 10 **W-1000 Berlin 10**	Tel. (0 30) 34 00 02-0 Telefax (0 30) 341 30 17 Telex 181 636 (rshb d)
Zweigniederlassung Hamburg Steilshooper Allee 47 · Postfach 602240 **W-2000 Hamburg 60**	Tel. (0 40) 63 29 00-0 Telefax (0 40) 630 78 70 Telex 2 173 748 (rsvh d)
Zweigniedlassung Köln Graf-Zeppelin-Straße 18 · Postfach 90 01 49 **W-5000 Köln 90**	Tel. (0 22 03) 8 07-0 Telefax (0 22 03) 807 50 Telex 8 874 444 (rsvc d)
Zweigniederlassung Büro Bonn Josef-Wirmer-Straße 1–3 · Postfach 14 02 64 **W-5300 Bonn 1** (Hardtberg)	Tel. (02 28) 25 91 95 Telefax (02 28) 25 50 87 Telex 8 869 569 (rsvbb d)
Zweigniederlassung Frankfurt Siemensstraße 20 **W-6078 Neu-Isenburg**	Tel. (0 61 02) 20 07-0 Telefax (0 61 02) 20 07 52 Telex 4 185 641 (rstf d)
Zweigniederlassung Telekommunikation Siemensstraße 20 **W-6078 Neu-Isenburg**	Tel. (0 61 02) 20 07-0 Telefax (0 61 02) 20 07 12 Telex 4 185 641 (rstf d)
Zweigniederlassung Karlsruhe Am Sandfeld 9 **W-7500 Karlsruhe 31 (Neureut)**	Tel. (07 21) 9 78 21-0 Telefax (07 21) 9 78 21-41 Telex 7 826 730 (rsvk d)
Zweigniederlassung München Berg-am-Laim-Straße 47 · Postfach 80 14 49 **W-8000 München 80**	Tel. (0 89) 41 86 95-0 Telefax (0 89) 40 47 64 Telex 524 960 (rsdvm d)
Zweigniederlassung Nürnberg Münchener Straße 342 **W-8500 Nürnberg 50**	Tel. (09 11) 8 67 47 Telefax (09 11) 86 99 31 Telex 626 535 (rsvn d)

ROHDE&SCHWARZ WERK KÖLN Graf-Zeppelin-Straße 18 · Postfach 98 02 60 **W-5000 Köln 90**	Tel. (0 22 03) 49-0 Telefax (0 22 03) 49-308 Telex 8 874 525 (rsk d)
ROHDE&SCHWARZ WERK TEISNACH Kaikenrieder Straße 27 **W-8376 Teisnach**	Tel. (0 99 23) 2 80 Telefax (0 99 23) 2 82 18
ROHDE&SCHWARZ MESSGERÄTEBAU GMBH Riedbachstraße 58 · Postfach 16 52 **W-8940 Memmingen**/Allgäu	Tel. (0 83 31) 108-0 Telefax (0 83 31) 108-254 Telex 54 512 (mbmgn d) Teletex 897 487 = RSD
ROHDE&SCHWARZ ENGINEERING AND SALES GMBH Tassiloplatz 7 · Postfach 80 14 29 **W-8000 München 90**	Tel. (0 89) 48 00 04-0 Telefax (0 89) 48 00 04-44 Telex 5 218 403 (rse d)

R&S International

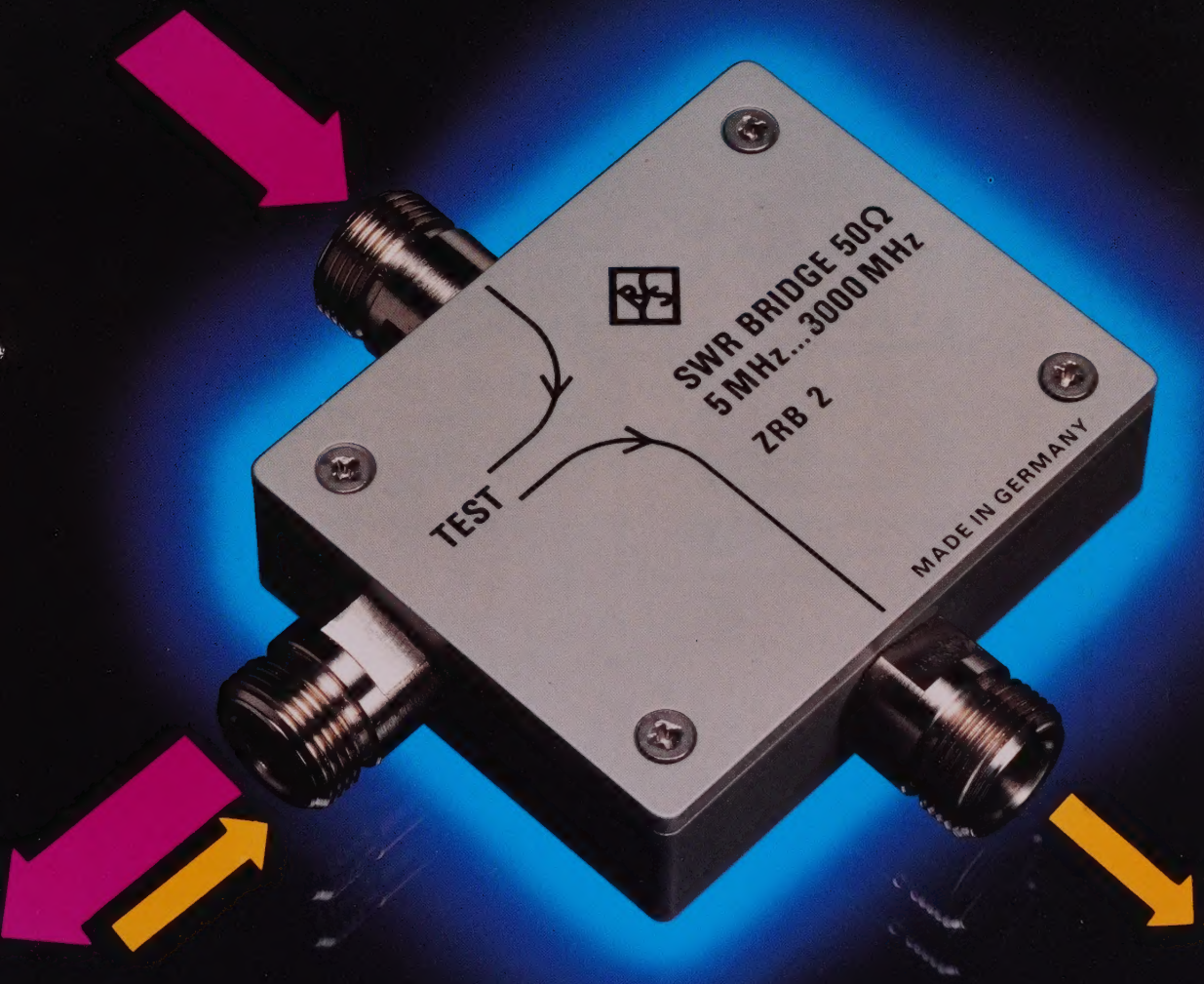
		Telephone Telefax Telex
Argentina	INTERTEL S.A. Sarmiento 1371 Oficinas 201/202 **1015 Buenos Aires**	(1) 4764535 (1) 496088 17800 (inter ar)
Australia	ROHDE&SCHWARZ (AUSTRALIA) Pty. Ltd. 63 Parramatta Road **Silverwater**, N.S.W. 2141	(2) 7480155 (2) 7481836 26372 (rand sa)
Austria	ROHDE&SCHWARZ-ÖSTERREICH Ges.m.b.H Sonnleithnergasse 20 **A-1100 Wien**	(1) 6026141 (1) 6026141-14 133933 (rsoe a)
Bangladesh	Business International Ltd. 146/A, New Bailey Rd., P.O.B. 727 **Dhaka-2**	(2) 408633 (2) 833650 675632 (bil bj)
Belgium	ROHDE&SCHWARZ BELGIUM N.V. Excelsiorlaan 31 Bus 1 **B-1930 Zaventem**	(2) 7209890 (2) 7250936 25306 (rs bel)
Brunei	Logistic Eng. & Maint. Serv. Ltd. Unit 112, 1st Fl., P.O.B. 298 Bangunan Gadong Kumbang Pasang Mile 2, Jalan Gadong **Bandar Seri Begawan**	(2) 21175 (2) 221175 —
Bulgaria	ROHDE & SCHWARZ Service REA-Service ul. Rakowski Nr. 142 **BG-1000 Sofia**	(92) 801699 (92) 874630
Brazil	ROHDE & SCHWARZ Precisão Eletrônica Ltda. Rua Geraldo Flausino Gomes, 42 1. Andar **04575 São Paulo – SP**	(11) 5427377 (11) 5315793 (11) 54170 (rusb)
Canada	ROHDE&SCHWARZ CANADA INC. 555 March Rd. **Kanata, Ontario K2K 2M5**	(613) 5928000 (613) 5928009 —
Chile	IMPORTADORA JANSSEN y Cía. Ltda. Agustinas 2356 P.O.B. 13570, Correo 21 **Santiago de Chile**	(2) 6998021 (2) 6726149 340489 (oroco ck)

R&S International

		Telephone Telefax Telex
China	ROHDE & SCHWARZ Representative Office Beijing Friendship-Hotel Building No. 4, Room 40429 3, Bai Shi Qiao Lu **Beijing, 100086**	(1) 8498668 (1) 8317685 222676 (rsbp cn)
Colombia	HANSEATICA Cía. Ltda. Calle 15 No. 68 D-78, Apartado Aéreo 14467 **Bogotá D.E.1**	(1) 2922153 (1) 2926614 44790 (hans co)
Costa Rica	ELECTRO IMPEX S.A. 200 metros Oeste de Pops Sabana Carretera Excazu P.O.Box 620-1000 **San José**	313426 316531 2645 (elepex cr)
Czecho-slovakia	ROHDE&SCHWARZ Österreich-Repräsentant: ZENIT Radlicka 138 **CS-15000 Praha 5** ROHDE&SCHWARZ Österreich-Service: siehe oben / see above ZENIT	(2) 551091/551094 (2) 551108 12801 (zenb c)
Denmark	ROHDE & SCHWARZ DANMARK A/S Herstedøstervej 27–29 **DK-2620 Albertslund**	(43) 436699 (43) 437744 —
Ecuador	DIGITEC Av. Shyris 2281 y El Telégrafo Casilla 408-A, Suc. No. 3 **Quito**	(2) 430373 (2) 443782 22764 (jjaram ed)
Finland	Orbis Oy Vanha Kaarelantie 9 **SF-01610 Vantaa**	(80) 5664066 (80) 531604 123134 (orbis sf)
France	ROHDE&SCHWARZ FRANCE 46, rue de la Couture, Silic 190 **F-94563 Rungis Cédex** Agences Régionales: Tertia 2 **F-13763 Aix-les-Milles Cédex**	(1) 46872506 (1) 46870853 265759 (ruselec f) Tél.: 42244337 Fax: 42243770

ROHDE&SCHWARZ

ZRB 2



VSWR-Meßbrücke

5 ... 3000 MHz ZRB 2

- Wellenwiderstand wahlweise 50 oder 75 Ω
- Großer Frequenzbereich
- Hohes Richtverhältnis
- Gute Anpassung
- Mechanisch robust

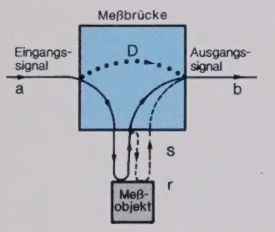
PD 756.4395.13

VSWR-MESSBRÜCKE ZRB 2

Eigenschaften und Anwendung

Die VSWR-Meßbrücke ZRB 2 dient zur Messung des Reflexionsfaktors nach Betrag und Phase, z. B. von Filtern, Verstärkern, Mischern oder Antennen. Das vom Sender kommende Signal a gelangt über die Meßbrücke zum Meßobjekt. Abhängig von dessen Reflexionsfaktor r wird ein Teil des Signals über die Meßbrücke zum Indikator reflektiert. Dieser Teil b des Signals ist ein Maß für den komplexen Reflexionsfaktor r des Meßobjekts. Intelligente Indikatoren wie der Vector Analyzer ZPV (Datenblatt PD 756.4214) rechnen den gemessenen Reflexionsfaktor in andere Parameter um, beispielsweise in die Impedanz oder die Admittanz des Meßobjektes. Dabei ist sowohl die Darstellung nach Betrag und Phase wie auch nach Real- und Imaginärteil möglich.

Meßgenauigkeit



Zwei Effekte bestimmen die Meßgenauigkeit:

1. Das endliche Richtverhältnis der Meßbrücke; das Fehlersignal gelangt direkt zum Brückenausgang (gepunkteter Signalpfad D).
2. Mehrfachreflexionen zwischen Meßobjekt und Meßtor; für die Fehlerabschätzung genügt es, nur eine Reflexion zu berücksichtigen (gestrichelter Pfad).

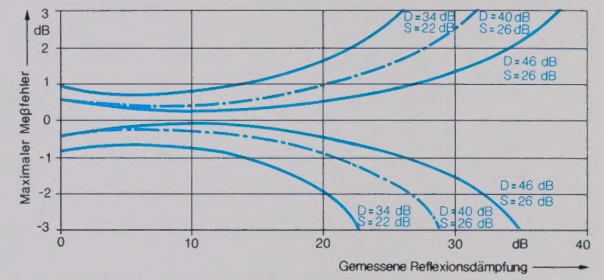
Damit ergibt sich bei einem Eingangssignal a für das Ausgangssignal b näherungsweise

$$b = T \cdot (D + r + S \cdot r^2) \cdot a$$

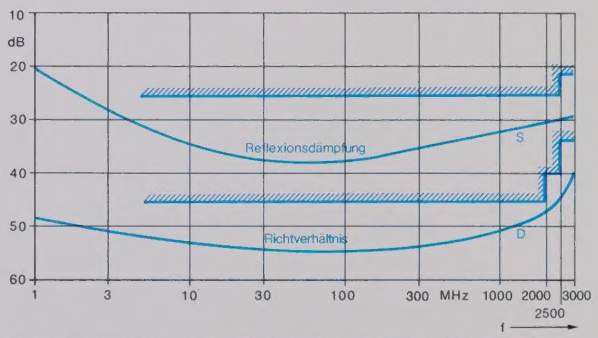
mit T Einfügungsdämpfung, D Richtverhältnis, S Reflexionsdämpfung am Meßtor der Brücke und r Reflexionsfaktor des Meßobjekts.

Die Gleichung zeigt, daß die Messung kleiner Reflexionsfaktoren durch das endliche Richtverhältnis D der Meßbrücke gestört wird. Der relative Meßfehler steigt mit fallendem Reflexionsfaktor. Reflexionsfaktoren, die kleiner sind als das Richtverhältnis der Meßbrücke, können nicht direkt gemessen werden. Bei der Messung großer Reflexionsfaktoren ist dieser Fehler vernachlässigbar. Die Genauigkeit der Messung hängt dabei von der Anpassung des Meßtors der Brücke ab. Bei einem Richtverhältnis von 46 dB und einer Reflexionsdämpfung des Meßtors von 26 dB beträgt der maximale absolute Fehler in Abhängigkeit von dem zu messenden Reflexionsfaktor 0,005 + 0,05 $|r|^2$.

Das Bild unten erlaubt eine quantitative Beurteilung dieses Zusammenhangs. Es zeigt den zu erwartenden maximalen Meßfehler in Abhängigkeit von der gemessenen Reflexionsdämpfung. Aufgetragen ist die höchstmögliche positive und negative Abweichung des Meßwertes von dem wahren Wert der Reflexionsdämpfung. Zu beachten ist, daß es sich hierbei um die spezifizierten Grenzwerte der ZRB 2 handelt. Für den unteren und mittleren Frequenzbereich sind sowohl die Reflexionsdämpfung am Meßtor (typ. >28 dB) wie auch das Richtverhältnis (typ. >50 dB) höher als angegeben. Die dann auftretenden Meßunsicherheiten sind geringer als die skizzierten Grenzwerte und bei praktischen Messungen meist vernachlässigbar.



Maximale Meßfehler bei einer angenommenen Reflexionsdämpfung des Meßtors von 22 und 26 dB (VSWR = 1,17 und 1,1) und Richtverhältnissen von 34, 40 und 46 dB



Präzisionsmodell ZRB 2 (50 Ω): typischer Verlauf und Spezifikationsgrenze von Reflexionsdämpfung S am Meßtor und Richtverhältnis D

Technische Daten

	Präzisionsmodell (50 Ω)	Standardmodell (50 Ω)	Standardmodell (75 Ω)
Frequenzbereich	5...3000 MHz	5...2500 MHz	5...2000 MHz
Wellenwiderstand	50 Ω	50 Ω	75 Ω
Richtverhältnis	≥46 dB bis 2 GHz, ≥40 dB bis 2,5 GHz, ≥34 dB bis 3 GHz	≥40 dB	≥40 dB
Reflexionsdämpfung am Meßtor	≥26 dB bis 2,5 GHz, ≥22 dB bis 3 GHz	≥23 dB	≥20 dB bis 1,5 GHz, ≥18 dB bis 2 GHz
Meßfehler (|r| = Betrag des gemessenen Reflexionsfaktors)	0,005 + 0,05 $\|r\|^2$ bis 2 GHz, 0,01 + 0,05 $\|r\|^2$ bis 2,5 GHz, 0,02 + 0,08 $\|r\|^2$ bis 3 GHz	0,01 + 0,07 $\|r\|^2$	0,01 + 0,1 $\|r\|^2$ bis 1,5 GHz, 0,01 + 0,13 $\|r\|^2$ bis 2 GHz
Einfügungsdämpfung (5 MHz)			
Gesamt	13 dB	13 dB	14 dB
Eingang — Meßtor	7 dB	7 dB	8 dB
Meßtor — Ausgang	6 dB	6 dB	6 dB
Belastbarkeit	0,5 W	0,5 W	0,5 W

Hinweis: Starke Magnetfelder können die technischen Daten der VSWR-Meßbrücke beeinträchtigen!

Allgemeine Daten

Nenntemperaturbereich	0 bis +50 °C
Lagertemperaturbereich	−40 bis +70 °C
Anschlüsse	N-Buchsen
Meßobjektanschluß	N-Buchse oder N-Stecker
Abmessungen ohne Anschlüsse (LxBxH)	72 mm x 57 mm x 20 mm
Länge der Anschlüsse, Buchse	17 mm
Stecker	19 mm
Gewicht	240 g

Bestellangaben

Bestellbezeichnung	▶ VSWR-Meßbrücke ZRB 2
50 Ω, 5 bis 3000 MHz, Meßobjektanschluß Buchse	373.9017.52
Stecker	373.9017.55
50 Ω, 5 bis 2500 MHz, Meßobjektanschluß Buchse	373.9017.53
Stecker	373.9017.56
75 Ω, 5 bis 2000 MHz, Meßobjektanschluß Buchse	802.1018.73
Stecker	802.1018.76

ROHDE&SCHWARZ
GmbH & Co. KG. · D-8000 München 80 · Mühldorfstr. 15 · Tel. (089) 4129-0 · Telefax (089) 4129-2164 · Telex 523703
Printed in the Fed. Rep. of Germany · Änderungen vorbehalten · Daten ohne Toleranz: nur Größenordnung
889 (U dr)

Beiblatt
zur Beschreibung
SWR BRIDGE
ZRB2

Hinweis:

Um eine Beeinträchtigung der Technischen Daten zu vermeiden, darf die VSWR-Meßbrücke ZRB2 nicht in die Nähe starker Magnetfelder gebracht werden.

1 Anwendung und Eigenschaften

1.1 Typische Anwendung

Die Reflexionsfaktormeßbrücke (SWR-Bridge) ZRB2 dient zur Messung des Betrags und der Phase des Reflexionsfaktors von Meßobjekten, wie z. B. Filter, Dämpfungsglieder, Frequenzweichen, Richtkoppler, Verstärker, Mischer oder Abschlußwiderstände. Durch Umrechnung lassen sich aus dem Reflexionsfaktor des Meßobjektes die Reflexionsdämpfung, das Stehwellenverhältnis und die Impedanz des Meßobjektes bestimmen (vgl. Kap. 2.3). In Bild 1 ist ein typischer Meßaufbau skizziert, wobei neben der Meßbrücke ZRB2 ein Wobbelsender und ein Indikator verwendet werden. Besonders geeignet sind der Wobbelsender SWP sowie als Indikator das Polyskop SWOB5, der skalare Netzwerkanalysator ZAS und der Vektor-Analysator ZPV von Rohde & Schwarz.

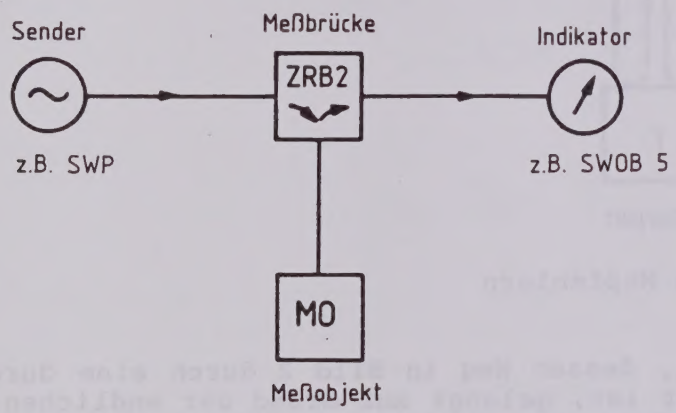


Bild 1 Typischer Meßaufbau zur Messung des Reflexionsfaktors eines Meßobjektes

Das vom Sender ausgehende Signal wird über die Meßbrücke ZRB2 zum Meßobjekt übertragen. In Abhängigkeit von dem Reflexionsfaktor des Meßobjektes wird ein Teil des Signals dort reflektiert und gelangt über die Meßbrücke zum Indikator. Das Signal am Eingang des Indikators stellt somit nach Betrag und nach Phase ein Maß für den Reflexionsfaktor r des Meßobjektes dar. Je nach Art des verwendeten Indikators läßt sich entweder nur der Betrag oder Betrag und Phase des Reflexionsfaktors bestimmen und anzeigen. Durch die hohe Direktivität (Richtverhältnis) der Reflexionsfaktormeßbrücke ZRB2 und durch den geringen Reflexionsfaktor am Meßobjektanschluß der Brücke sind Messungen mit hoher Genauigkeit möglich.

1.2 Grenzen der Meßgenauigkeit

Auf Grund von unvermeidlichen mechanischen und elektrischen Toleranzen der verwendeten Komponenten sowie aus prinzipiellen physikalischen Gründen, läßt sich eine Reflexionsfaktormeßbrücke nicht mit völlig idealen Eigenschaften über den gesamten Frequenzbereich herstellen. Die dadurch hervorgerufenen Meßfehler sollen anhand von Bild 2 näher erläutert werden.

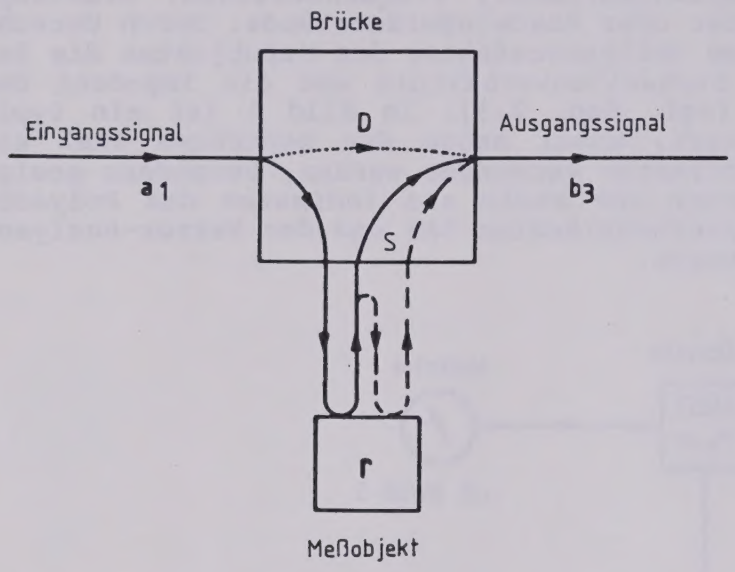


Bild 2 Ursachen von Meßfehlern

Neben dem Nutzsignal, dessen Weg in Bild 2 durch eine durchgezogene Linie angedeutet ist, gelangt auf Grund der endlichen Direktivität D der Meßbrücke ein geringer Anteil des eingespeisten Signals, quasi als Übersprecher, direkt zum Ausgang der Brücke, ohne das Meßobjekt zu erreichen (siehe gepunkteten Signalpfad). Ein weiteres Fehlersignal wird durch den Eingangsreflexionsfaktor S des Meßobjektanschlusses der Meßbrücke hervorgerufen. Ein Teil des vom Meßobjekt reflektierten Signals wird am Meßobjektanschluß der Brücke reflektiert und gelangt erneut zum Meßobjekt. Dort wird es wiederum teilweise reflektiert und erreicht schließlich wieder die Meßbrücke (siehe gestrichelten Signalpfad). Unter Vernachlässigung von Mehrfachreflexionen an der Meßbrücke erhält man den folgenden Zusammenhang zwischen dem Ausgangssignal b_3 und dem Eingangssignal a_1 der Reflexionsfaktormeßbrücke.

$$b_3 = T\,(D + r + Sr^2)\,a_1 \qquad (1)$$

mit T = Transmissionsverluste

D = Direktivität

r = Reflexionsfaktor des Meßobjektes

S = Reflexionsfaktor des Meßobjekt-
anschlusses der Brücke

Aus Gleichung (1) läßt sich ablesen, daß die Messung kleiner Reflexionsfaktoren durch die endliche Direktivität D der Meßbrücke gestört wird. Der relative Meßfehler steigt mit fallendem Reflexionsfaktor. Reflexionsfaktoren, die kleiner sind als die Direktivität der Meßbrücke, können nicht direkt gemessen werden.

Bei der Messung großer Reflexionsfaktoren ist der Fehler durch die endliche Direktivität der Meßbrücke vernachlässigbar. Die Genauigkeit der Messung wird nun durch die Fehlanpassung des Meßobjektanschlusses bestimmt.

2 Bedienung

2.1 Meßaufbau

Die Reflexionsfaktormeßbrücke ZRB2 besitzt drei Anschlußbuchsen in N-Technik (vgl. Bild 3).

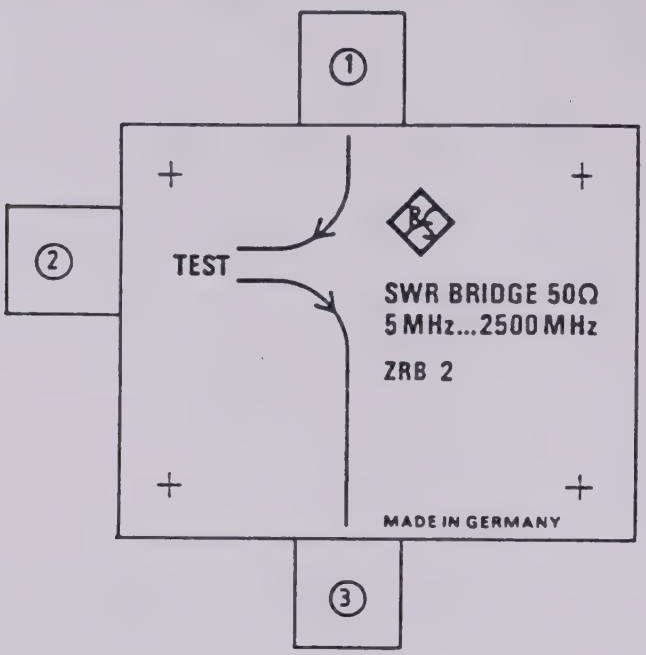


Bild 3 Bedienung der Meßbrücke

An dem in Bild 3 mit 1 bezeichneten Anschluß der Brücke wird üblicherweise die Signalquelle (z.B. der Wobbelsender SWP von Rohde & Schwarz) angeschlossen. Das Meßobjekt wird mit Anschluß 2 möglichst direkt verbunden, um die Messung nicht durch Kabelreflexionen zu stören. Am Ausgang 3 der Brücke steht eine dem Betrag und der Phase des Reflexionsfaktors des Meßobjektes proportionale Spannung zur Verfügung. Diese kann z. B. mit Hilfe eines Detektors direkt gleichgerichtet werden oder aber (über ein N-Kabel) an den Meßeingang eines skalaren oder vektoriellen Netzwerkanalysators angeschlossen werden (z.B. an das Polyskop SWOB5, den skalaren Netzwerkanalysator ZAS oder den Vektor-Analysator ZPV).

Nebenbei sei bemerkt, daß die Reflexionsfaktormeßbrücke auch "invers" betrieben werden kann. Die Signalquelle wird dann mit Anschluß 3 und der Indikator mit Anschluß 1 verbunden. Das Meßobjekt gehört wiederum an Anschluß 2. Durch diese Anordnung läßt sich für einige Meßprobleme die unterschiedliche Einfügungsdämpfung der Meßbrücke zwischen den verschiedenen Anschlüssen mit Vorteil ausnutzen. Die Einfügungsdämpfung zwischen den Buchsen 2 und 3 ist nämlich typisch um 1 dB geringer als zwischen den Anschlußbuchsen 1 und 2.

2.2 Messung des Reflexionsfaktors

Zur Messung des Reflexionsfaktors r eines Meßobjektes ist es notwendig den Meßaufbau zunächst auf Totalreflexion zu eichen. Dazu muß ein Reflexionsfaktor von |r| = 100 % realisiert werden. (Dieses entspricht einer Reflexionsdämpfung von a = 0 dB.) Am einfachsten läßt man den Meßobjektanschluß der Meßbrücke offen und erhält so eine Leerlaufeichlinie. Diese Eichlinie stellt für alle weiteren Messungen die 0 dB-Referenzlinie dar.

Für sehr präzise Messungen sollte beachtet werden, daß auf Grund des zwar geringen aber endlichen Reflexionsfaktors des Meßobjektanschlusses der Brücke, die Leerlaufeichlinie um einige Zehntel dB von der wahren 0 dB-Eichlinie abweichen kann. Für Präzisionsmessungen empfiehlt es sich daher, eine zusätzliche Eichmessung durchzuführen, bei der der Meßobjektanschluß der Brücke kurzgeschlossen wird. Der Mittelwert dieser Kurzschlußeichlinie und der Leerlaufeichlinie entspricht der wahren 0 dB-Eichlinie.

Durch stufenweise Abschwächung des Ausgangspegels des verwendeten Meßsenders, z. B. in 10 dB-Schritten lassen sich weitere Eichlinien für definierte Reflexionsdämpfungen von z. B. 10 dB, 20 dB usw. ermitteln.

Bei Verwendung eines Indikators mit logarithmischer Anzeige, z. B. SWOB5 mit Einschub E3, läßt sich jeder beliebige Meßwert der Reflexionsdämpfung auf besonders einfache Weise mit Hilfe einer digitalen Anzeige ermitteln. Eine sinnvolle Ergänzung des Meßaufbaus besteht in der Verwendung des digitalen Bildspeichergerätes BDS von Rohde & Schwarz. Damit wird der Meßkomfort erhöht und z. B. der Vergleich unterschiedlicher Meßobjekte stark vereinfacht.

2.3 Umrechnungen

Übliche skalare Indikatoren mit logarithmischer Anzeige ermitteln die Reflexionsdämpfung eines Meßobjektes in dB. Durch Umrechnung lassen sich daraus der Betrag des Reflexionsfaktors des Meßobjektes in Prozent sowie das Stehwellenverhältnis (engl.: standing wave ratio = SWR) bestimmen. Es bestehen die folgenden formalen Zusammenhänge:

Mit r = Reflexionsfaktor des Meßobjektes
a = Reflexionsdämpfung in dB
s = Stehwellenverhältnis SWR

$$a = -20 \cdot \lg|r| \qquad |r| = 10^{-0,05 \cdot a}$$

$$s = \frac{1 + |r|}{1 - |r|} \qquad |r| = \frac{s - 1}{s + 1} \qquad (2)$$

Die Umwandlung der Meßwerte kann auf einfache Weise durch Benutzung der Tabelle 1 oder des Diagramms 1 geschehen, welches auch auf dem Etui der Meßbrücke aufgedruckt ist.

Bei Auswertung des Betrages und zusätzlich der Phase des gemessenen Reflexionsfaktors kann die Impedanz des Meßobjektes mit Hilfe von Gl. (3) berechnet werden. Dabei ist Z_0 der Bezugswellenwiderstand (z. B. Z_0 = 50 Ω oder 75 Ω).

$$Z = \frac{1 + r}{1 - r} \cdot Z_0 \qquad (3)$$

Graphisch läßt sich die Impedanz eines Meßobjektes mit Hilfe des Smith-Diagramms ermitteln (siehe Anhang).

2.4 Abschätzung von Meßfehlern

Meßfehler können durch die endliche Direktivität der Brücke und durch Reflexionen am Meßobjektanschluß hervorgerufen werden.

Wie aus Gl. (1) hervorgeht, wird die Messung kleiner Reflexionsfaktoren durch die Direktivität D der Brücke beeinträchtigt. Durch die vektorielle Überlagerung des Nutzsignals und des durch die endliche Direktivität der Brücke bedingten Störsignals ergibt sich dabei eine Unsicherheit in der Bestimmung des Reflexionsfaktors r des Meßobjektes. Dieser Zusammenhang ist in Bild 4 graphisch dargestellt.

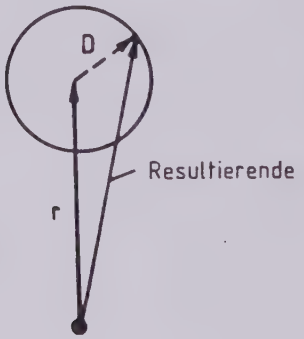


Bild 4 Vektorielle Überlagerung von Nutzsignal und Direktivität

Auf Grund des zufälligen Phasenwinkels zwischen dem Nutzsignal r und der Direktivität D, kann die Resultierende, die einzig der Messung zugänglich ist, im Extremfall den Wert $|r| + |D|$ bzw. $|r| - |D|$ annehmen. Umgekehrt kann also der Meßwert um maximal $\pm |D|$ von dem wahren Wert des Reflexionsfaktors abweichen.

In logarithmischer Darstellung lassen sich die Fehlergrenzen mit Hilfe der Tabelle 2 bestimmen (siehe Anhang). Für den Grenzfall, daß der Reflexionsfaktor ebenso klein wie die Direktvität ist ($x = 0$ dB in Tabelle 2), ergeben sich als Extremfälle gerade eine Verdoppelung bzw. eine Auslöschung beider Zeiger. Die maximalen Meßfehler sind dann +6 dB bzw. $-\infty$ dB.

Bei der Messung großer Reflexionsfaktoren sind Meßfehler, die durch die endliche Direktvität der Brücke hervorgerufen werden können, kleiner als 0,1 dB und somit vernachlässigbar. Die Fehlergrenzen werden nun durch den Reflexionsfaktor des Meßobjektanschlusses bestimmt. Wie man der Gl. (1) entnehmen kann, ergibt sich die größte Meßunsicherheit bei einer zu messenden Reflexionsdämpfung von 0 dB, d. h. Totalreflexion. Die zu erwartenden maximalen Meßfehler lassen sich ebenfalls aus der Tabelle 2 entnehmen. Bei einer Eingangsreflexionsdämpfung des Meßobjektanschlusses von z. B. 25 dB sind maximale Meßfehler von etwa ±0,5 dB bei der Messung großer Reflexionsfaktoren möglich.

Im allgemeinen wird bei den meisten praktischen Messungen die zu messende Reflexionsdämpfung in einem mittleren Wertebereich liegen. Die zu erwartenden maximalen Meßfehler sind dann kleiner als in den beiden betrachteten Grenzfällen. Eine quantitative Beschreibung dieses Zusammenhangs ist im Anhang gegeben (siehe Diagramm 3).

3 Wartung

3.1 Erforderliche Meßgeräte

Zur Prüfung der Eigenschaften der Reflexionsfaktormeßbrücke ZRB2 wird ein Sender und ein Indikator benötigt (z.B. der Wobbelsender SWP und das Polyskop SWOB5 von R&S). Weiterhin sind ein Präzisionsabschlußwiderstand, ein Kurzschluß und zur Prüfung der Anpassung eine weitere Reflexionsfaktormeßbrücke und ein weiterer Abschlußwiderstand erforderlich.

3.2 Prüfung der Anpassung

In einem Meßaufbau wie in Bild 1 skizziert (siehe Kap. 1.1), läßt sich die Anpassung am Meßobjektanschluß der Reflexionsfaktormeßbrücke prüfen. Für den Meßplatz benötigt man dazu eine weitere Meßbrücke ZRB2. Der Meßobjektanschluß dieser Brücke (Anschlußbezeichnung TEST) wird mit dem Meßobjektanschluß der zu prüfenden Brücke über einen Verbindungsstecker oder direkt verbunden. Die beiden übrigen Anschlüsse des Prüflings werden mit Abschlußwiderständen reflexionsarm abgeschlossen. Die Anpassung am Meßobjektanschluß der zu prüfenden Meßbrücke kann nun wie bei jedem anderen Meßobjekt direkt abgelesen werden.

Sollte keine zusätzliche Reflexionsfaktormeßbrücke zur Verfügung stehen, so läßt sich eine Aussage über die Anpassung des Meßobjektanschlußes auch mit Hilfe einer Transmissionsmessung des Prüflings gewinnen (vgl. dazu Kap. 3.3).

3.3 Prüfung der Einfügungsdämpfung

Die Einfügungsdämpfung der Meßbrücke kann ebenfalls in dem in Bild 1 skizzierten Meßaufbau ermittelt werden. Zunächst wird die Meßbrücke entfernt und der Indikator direkt an den Sender angeschlossen. Die Anzeige wird auf 0 dB geeicht. Nun wird die zu prüfende Meßbrücke, wie in Bild 1 skizziert, mit dem Meßaufbau verbunden. Der Meßobjektanschluß der Brücke bleibt offen. Die Einfügungsdämpfung kann nun direkt abgelesen werden.

Wird der Meßobjektanschluß der Brücke kurzgeschlossen, so erhält man aufgrund der nicht perfekten Anpassung der Meßbrücke etwas abweichende Meßergebnisse für die Einfügungsdämpfung. Die Anpassung S am Meßtor der Brücke entspricht der Spezifikation, wenn der Unterschied 1 ± x (vgl. Tabelle 2 auf Seite 25) der Meßergebnisse im Leerlauf- und Kurzschlußfall nicht größer ist als in folgender Tabelle angegeben:

S	1 ± x
26 dB	0,9 dB
23 dB	1,3 dB
22 dB	1,4 dB
20 dB	1,8 dB
18 dB	2,2 dB

3.4 Prüfung der Direktivität

Auch zur Prüfung der Direktivität der Meßbrücke wird der in Bild 1 skizzierte Meßaufbau benutzt. Nach einer 0 dB-Eichmessung bei offenem Meßobjektanschluß wird ein Präzisionsabschlußwiderstand angeschlossen. Unter Berücksichtigung des Reflexionsfaktors dieses Abschlußwiderstandes entspricht die Anzeige der Direktivität der Meßbrücke.

Eine eventuell auftretende starke Verminderung der Direktivität der Meßbrücke läßt sich auf diese Weise erkennen. Die Direktivität der intakten Brücke ist jedoch insbesondere für den oberen Frequenzbereich so nicht meßbar, da die dazu notwendigen Abschlußwiderstände nicht mit hinreichender Präzision herstellbar sind.

4.1 Prinzip des resistiven Kopplers

Breitbandige Reflektometerschaltungen lassen sich nicht durch Verwendung üblicher Richtkoppler, wie z. B. Leitungskoppler realisieren, da diese nur eine Bandbreite von wenigen Oktaven aufweisen. Demgegenüber lassen sich mit Hilfe von resistiven Kopplern sehr hohe Bandbreiten erzielen. Der spezifizierte Frequenzbereich der Reflexionsfaktormeßbrücke ZRB2 beträgt z. B. 5 MHz bis 2,5 GHz und entspricht damit einer Bandbreite von 9 Oktaven.

Das Grundprinzip des resistiven Kopplers (siehe Bild 5) ähnelt dem der bekannten Wheatstone'schen Brückenschaltung.

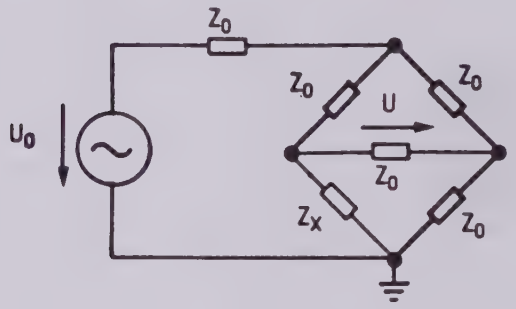


Bild 5 Prinzip des resistiven Kopplers

Die unbekannte Impedanz Z_X wird in dieser Brückenanordnung mit der Bezugsimpedanz Z_0 verglichen. Im Unterschied zur Wheatstone 'schen Brückenschaltung wird jedoch kein Nullabgleich der in der Brückendiagonale abfallenden Spannung U durchgeführt. Vielmehr wird diese Spannung gemessen und ausgewertet. Wie sich leicht zeigen läßt, wird die Spannung U durch Gl. (4) beschrieben.

$$U = \frac{1}{8} \cdot \frac{Z_X - Z_0}{Z_X + Z_0} \cdot U_0 \qquad (4)$$

Wie man sieht, ist die Spannung U somit nach Betrag und Phase ein Maß für den Reflexionsfaktor

$$r = \frac{Z_X - Z_0}{Z_X + Z_0}$$

des Meßobjektes Z_X.

4.2 Aufbau der Meßbrücke

Die Reflexionsfaktormeßbrücke verkörpert die drei in Bild 5 dick gezeichneten Widerstände Z_0. Der Widerstand Z_0 in der Brückendiagonale ist der Innenwiderstand des Indikators und nicht Bestandteil der Brücke, ebenso wie der Innenwiderstand Z_0 der Quelle. Bei der Reflexionsfaktormeßbrücke sind die Signalquelle, der Indikator und das Meßobjekt über koaxiale Anschlußbuchsen in N-Technik anschließbar. Um jedoch keinen Brückenzweig kurzzuschließen, muß die in der Brückendiagonale abfallende Spannung erdsymmetrisch abgegriffen werden. Dazu dient der in Bild 6 skizzierte Symmetrierübertrager. Er besteht aus einem Koaxialkabel, dessen Innenleiter an dem linken Punkt der Brückendiagonale und dessen Außenleiter am rechten Punkt angeschlossen ist.

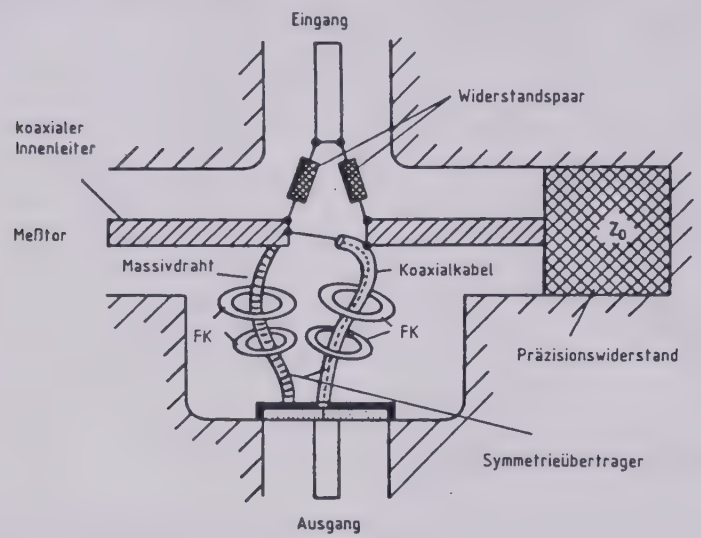


Bild 6 Schematischer Aufbau der Brücke

Ein möglicher Masseschluß des rechten Anschlußpunktes der Brükkendiagonale über den Außenleiter des Koaxialkabels wird durch Ferritkerne (FK) verhindert. Diese bestimmen die untere Frequenzgrenze der Meßbrücke. Um eine große Bandbreite zu erzielen, werden in der Reflexionsfaktormeßbrücke ZRB2 zwei unterschiedliche Ferritkerne benutzt. Dennoch ist die Außenleiterimpedanz des Koaxialkabels nicht beliebig hochohmig. Dadurch ergibt sich eine Unsymmetrie der Brücke, die eine Verschlechterung der Direktivität bewirken würde. Um dieses zu verhindern, muß die Symmetrie der Brücke ausgeglichen werden. Man erreicht dieses durch den Einbau eines Massivdrahtes mit Ferritkernen an den linken Punkt der Brückendiagonale. Diese Struktur stellt eine "Nachbildung" der Außenleiterimpedanz des Koaxialkabels dar und führt zu einer Symmetrierung der Brücke. Auch die Nachbildung enthält zwei unterschiedliche Ferritkerne. Um eine hohe Qualität der Meßbrücke zu erreichen, d. h. hohe Direktivität, sind das Koaxialkabel und die Nachbildung möglichst spiegelsymmetrisch aufgebaut.

Nachteilig ist, daß die Nachbildung die Eingangsimpedanz des Meßobjektanschlusses der Brücke vermindert. Dieser Effekt läßt sich jedoch durch geeignete Wahl der in Bild 5 dick gezeichneten Widerstände kompensieren. Wie sich nämlich analytisch zeigen läßt, müssen nicht alle drei Widerstände den Wert Z_0 aufweisen. Es genügt, die oberen beiden möglichst gleich zu machen und nur den dritten als Z_0-Präzisionswiderstand auszubilden (vgl. Bild 6). In der Reflexionsfaktormeßbrücke ZRB2 sind die Werte der beiden oberen Widerstände größer als Z_0 gewählt worden. Dadurch wird die, durch die Nachbildung verursachte, Impedanzverminderung kompensiert und eine gute Anpassung des Meßobjektanschlusses erzielt, ohne die Direktivität der Brücke zu beeinträchtigen. Der Z_0-Präzisionswiderstand ist in Dünnschichttechnik hergestellt worden. Auf diese Weise läßt sich eine möglichst reelle Impedanz von 50 Ω bzw. 75 Ω für den gesamten spezifizierten Frequenzbereich der ZRB2 realisieren.

5 Instandsetzung

Ein eventuell auftretender Defekt der Reflexionsfaktormeßbrücke sollte nur im Werk behoben werden, um eine Einhaltung der technischen Daten zu garantieren. Bitte wenden Sie sich an Ihre R&S-Vertretung.

6 Anhang

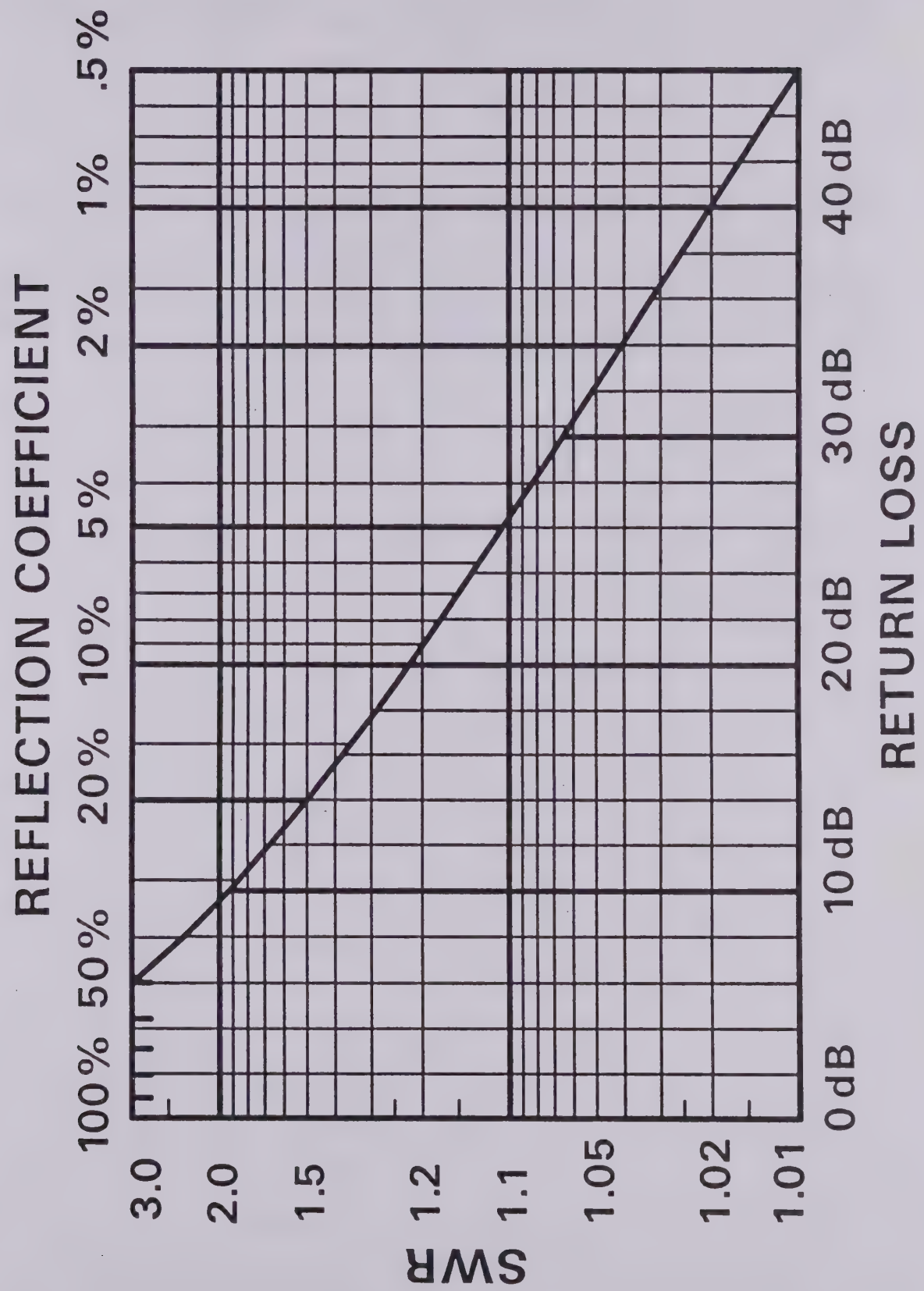
6.1 Tabelle und Diagramm zur Meßwerteumwandlung

Die Tabelle 1 zeigt den Zusammenhang zwischen dem Betrag des Reflexionsfaktors r des Meßobjektes in Prozent, der Reflexionsdämpfung a in dB und dem Stehwellenverhältnis SWR. Das Diagramm 1 zeigt die gleichen Zusammenhänge in graphischer Form. Die entsprechenden Umrechnungsformeln sind in Kapitel 2.3 angegeben (siehe Gleichung 2).

Tabelle 1: Meßwerteumwandlung

Reflexionsfaktor |r| in %	Reflexionsdämpfung a	Stehwellenverhältnis SWR
100.0000	0 dB	∞
89.1251	1 dB	17.3910
79.4328	2 dB	8.7242
70.7946	3 dB	5.8480
63.0957	4 dB	4.4194
56.2341	5 dB	3.5698
50.1187	6 dB	3.0095
44.6684	7 dB	2.6146
39.8107	8 dB	2.3229
35.4813	9 dB	2.0999
31.6228	10 dB	1.9250
28.1838	11 dB	1.7849
25.1189	12 dB	1.6709
22.3872	13 dB	1.5769
19.9526	14 dB	1.4985
17.7828	15 dB	1.4326
15.8489	16 dB	1.3767
14.1254	17 dB	1.3290
12.5893	18 dB	1.2880
11.2202	19 dB	1.2528
10.0000	20 dB	1.2222
8.9125	21 dB	1.1957
7.9433	22 dB	1.1726
7.0795	23 dB	1.1524
6.3096	24 dB	1.1347
5.6234	25 dB	1.1192
5.0119	26 dB	1.1055
4.4668	27 dB	1.0935
3.9811	28 dB	1.0829
3.5481	29 dB	1.0736
3.1623	30 dB	1.0653
2.8184	31 dB	1.0580
2.5119	32 dB	1.0515
2.2387	33 dB	1.0458
1.9953	34 dB	1.0407
1.7783	35 dB	1.0362
1.5849	36 dB	1.0322
1.4125	37 dB	1.0287
1.2589	38 dB	1.0255
1.1220	39 dB	1.0227
1.0000	40 dB	1.0202
0.8913	41 dB	1.0180
0.7943	42 dB	1.0160
0.7079	43 dB	1.0143
0.6310	44 dB	1.0127
0.5623	45 dB	1.0113
0.5012	46 dB	1.0101

Diagramm 1: Meßwerteumwandlung



6.2 Smith-Diagramm

Der formale Zusammenhang zwischen der Impedanz Z eines Meßobjektes und seinem Reflexionsfaktor r ist durch die Gleichung (3) im Kapitel 2.3 angegeben. Er lautet:

$$Z = \frac{1 + r}{1 - r} \cdot Z_0$$

Dabei ist Z_0 der Bezugswellenwiderstand (z. B. $Z_0 = 50\ \Omega$ oder $75\ \Omega$).

Dieser Zusammenhang wird durch das Smith-Diagramm graphisch dargestellt. Nach Messung des Reflexionsfaktors r des Meßobjektes nach Betrag und Phase, kann seine Impedanz Z auf einfache Weise mit Hilfe des Smith-Diagramms ermittelt werden (s. Diagramm 2).

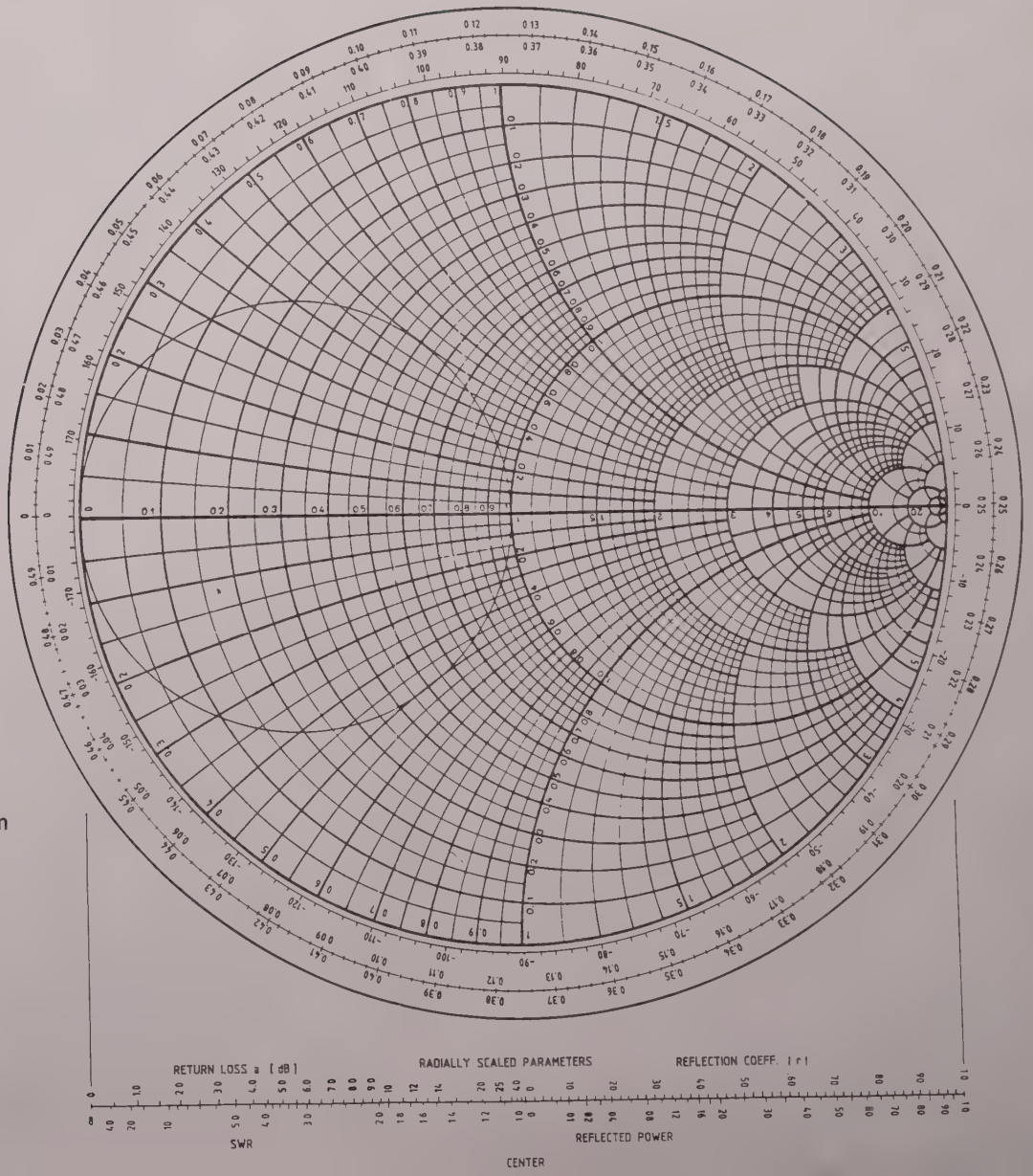


Diagramm 2: Smith-Diagramm

6.3 Fehlerabschätzung

In Kapitel 2.4 ist erläutert worden, daß aufgrund der endlichen Direktivität der Meßbrücke eine Bestimmung des Reflexionsfaktors eines Meßobjektes mit Fehlern behaftet ist. Mit Hilfe der folgenden Tabelle 2 lassen sich die zu erwartenden maximalen Meßfehler in Abhängigkeit von dem zu messenden Reflexionsfaktor und der Direktivität der Meßbrücke bestimmen.

Die in Tabelle 2 angegebenen Werte, sind auf den zu messenden Reflexionsfaktor normiert. In der vierten Spalte gibt der Wert x an, um wieviel dB die Direktivität der Meßbrücke höher ist als die zu messende Reflexionsdämpfung. Die folgenden beiden Spalten geben die Fehlergrenzen an, innerhalb derer der wahre Wert für die Reflexionsdämpfung liegt. Die letzte Spalte gibt die Größe dieses Fehlerschlauches in dB an. Zusätzlich sind aus Gründen der besseren Übersichtlichkeit noch einmal die Beziehungen zwischen Stehwellenverhältnis, Reflexionsfaktor und Reflexionsdämpfung angegeben.

Das Diagramm 3 erlaubt eine quantitative Bestimmung der zu erwartenden maximalen Meßfehler in Abhängigkeit von der gemessenen Reflexionsdämpfung. Aufgetragen ist die höchstmögliche positive und negative Abweichung des Meßwertes von dem wahren Wert der Reflexionsdämpfung. Dabei ist neben einer endlichen Direktivität der Meßbrücke zusätzlich ein Eingangsreflexionsfaktor des Meßobjektanschlusses berücksichtigt worden. Zu beachten ist, daß es sich hierbei um die spezifizierten Grenzwerte der ZRB2 handelt. Für einen mittleren Frequenzbereich der Meßbrücke ist insbesondere die Direktivität höher als angegeben. Die dann auftretenden Meßunsicherheiten sind geringer als die in Diagramm 3 skizzierten Grenzwerte.

Tabelle 2:

SWR	|r|	a [dB]	x [dB]	1 + x [dB]	1 - x [dB]	1 ± x [dB]
∞	1.0000	0	0	6.0206	- ∞	∞
17.3910	.8913	1	1	5.5350	-19.2715	24.8065
8.7242	.7943	2	2	5.0780	-13.7365	18.8145
5.8480	.7079	3	3	4.6495	-10.6907	15.3402
4.4194	.6310	4	4	4.2489	-8.6585	12.9073
3.5698	.5623	5	5	3.8755	-7.1773	11.0528
3.0095	.5012	6	6	3.5287	-6.0412	9.5699
2.6146	.4467	7	7	3.2075	-5.1405	8.3480
2.3229	.3981	8	8	2.9108	-4.4096	7.3204
2.0999	.3548	9	9	2.6376	-3.8063	6.4439
1.9250	.3162	10	10	2.3866	-3.3018	5.6884
1.7849	.2818	11	11	2.1567	-2.8756	5.0322
1.6709	.2512	12	12	1.9465	-2.5126	4.4590
1.5769	.2239	13	13	1.7547	-2.2013	3.9561
1.4985	.1995	14	14	1.5802	-1.9331	3.5133
1.4326	.1778	15	15	1.4216	-1.7007	3.1224
1.3767	.1585	16	16	1.2778	-1.4988	2.7766
1.3290	.1413	17	17	1.1476	-1.3227	2.4703
1.2880	.1259	18	18	1.0299	-1.1687	2.1986
1.2528	.1122	19	19	.9237	-1.0337	1.9574
1.2222	.1000	20	20	.8279	-.9151	1.7430
1.1957	.0891	21	21	.7416	-.8108	1.5524
1.1726	.0794	22	22	.6639	-.7189	1.3828
1.1524	.0708	23	23	.5941	-.6378	1.2319
1.1347	.0631	24	24	.5314	-.5661	1.0975
1.1192	.0562	25	25	.4752	-.5027	.9779
1.1055	.0501	26	26	.4248	-.4466	.8714
1.0935	.0447	27	27	.3796	-.3969	.7765
1.0829	.0398	28	28	.3391	-.3529	.6919
1.0736	.0355	29	29	.3028	-.3138	.6166
1.0653	.0316	30	30	.2704	-.2791	.5495
1.0580	.0282	31	31	.2414	-.2483	.4897
1.0515	.0251	32	32	.2155	-.2210	.4365
1.0458	.0224	33	33	.1923	-.1967	.3890
1.0407	.0200	34	34	.1716	-.1751	.3467
1.0362	.0178	35	35	.1531	-.1558	.3090
1.0322	.0158	36	36	.1366	-.1388	.2753
1.0287	.0141	37	37	.1218	-.1236	.2454
1.0255	.0126	38	38	.1087	-.1100	.2187
1.0227	.0112	39	39	.0969	-.0980	.1949
1.0202	.0100	40	40	.0864	-.0873	.1737
1.0180	.0089	41	41	.0771	-.0778	.1548
1.0160	.0079	42	42	.0687	-.0693	.1380
1.0143	.0071	43	43	.0613	-.0617	.1230
1.0127	.0063	44	44	.0546	-.0550	.1096
1.0113	.0056	45	45	.0487	-.0490	.0977
1.0101	.0050	46	46	.0434	-.0436	.0871
1.0090	.0045	47	47	.0387	-.0389	.0776
1.0080	.0040	48	48	.0345	-.0346	.0692
1.0071	.0035	49	49	.0308	-.0309	.0616
1.0063	.0032	50	50	.0274	-.0275	.0549
1.0057	.0028	51	51	.0244	-.0245	.0490
1.0050	.0025	52	52	.0218	-.0218	.0436
1.0045	.0022	53	53	.0194	-.0195	.0389
1.0040	.0020	54	54	.0173	-.0173	.0347
1.0036	.0018	55	55	.0154	-.0155	.0309
1.0032	.0016	56	56	.0138	-.0138	.0275
1.0028	.0014	57	57	.0123	-.0123	.0245
1.0025	.0013	58	58	.0109	-.0109	.0219
1.0022	.0011	59	59	.0097	-.0098	.0195
1.0020	.0010	60	60	.0087	-.0087	.0174

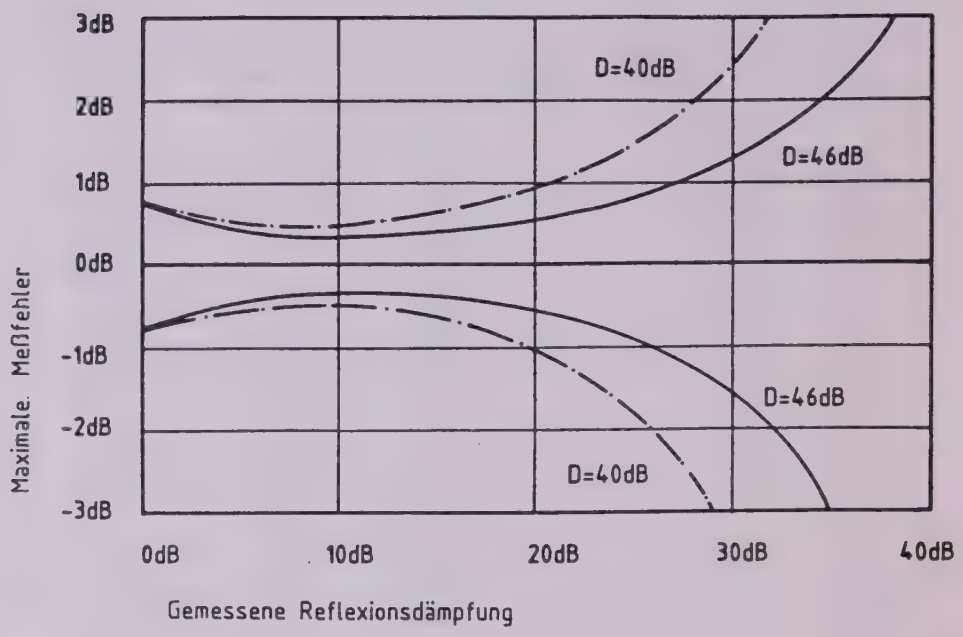


Diagramm 3: Meßfehler
Durchgezogene Kurve: D = 46 dB
Gestrichelte Kurve: D = 40 dB

ROHDE&SCHWARZ

Manual

SWR BRIDGE
ZRB2 (50 Ω)

373.9017.52
373.9017.53
373.9017.55
373.9017.56

SWR BRIDGE
ZRB2 (75 Ω)

802.1018.73
802.1018.76

Table of Contents

Page

Data Sheet

1 Uses and Characteristics 5

1.1 Typical Uses 5

1.2 Limits of Measurement Accuracy 6

2 Operation 8

2.1 Test Setup 8

2.2 Measuring the Reflection Coefficient 9

2.3 Conversion 10

2.4 Estimating Measurement Errors 11

3 Maintenance 12

3.1 Recommended Measuring Instruments 12

3.2 Checking the Matching 12

3.3 Checking the Insertion Loss 12

3.4 Checking the Directivity 13

4 Description 14

4.1 Principle of Resistive Couplers 14

4.2 Design of the SWR Bridge 15

5 Repair 17

6 Appendix 18

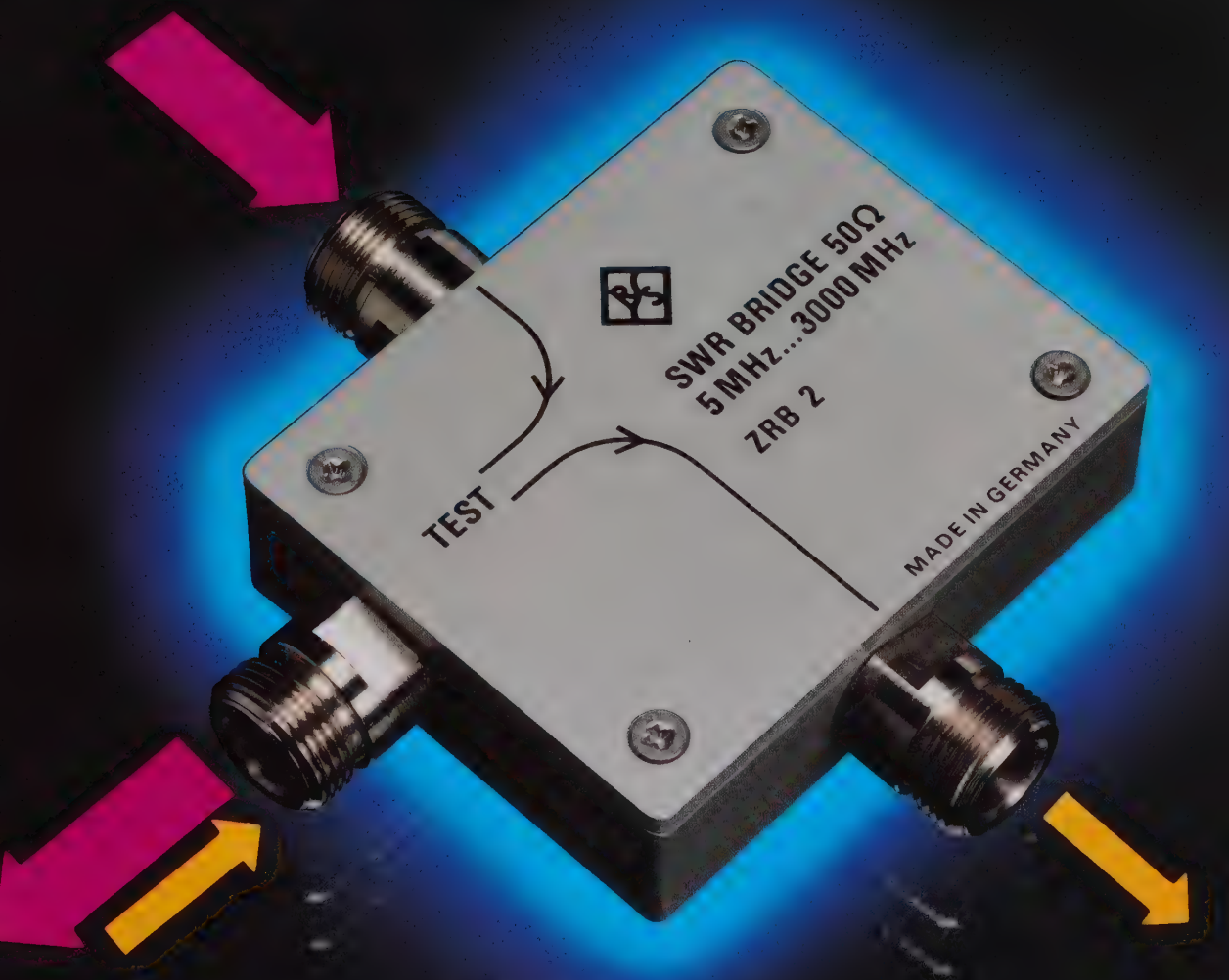
6.1 Conversion Table and Chart 18

6.2 Smith Chart 21

6.3 Error Estimation 23

ROHDE&SCHWARZ

ZRB 2



SWR Bridge ZRB 2

5 to 3000 MHz

- Characteristic impedance 50 or 75 Ω
- Wide frequency range
- High directivity
- Good matching characteristics
- Sturdy construction

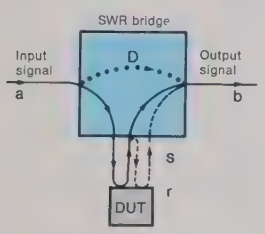
PD 756.4395.23

SWR BRIDGE ZRB 2

Characteristics and uses

The SWR Bridge ZRB 2 is used to measure the magnitude and phase of the reflection coefficient, e.g. of filters, amplifiers, mixers or antennas. The output signal **a** from the generator is fed via the SWR Bridge to the device under test. Part of the signal is reflected via the SWR Bridge to the indicator, the amount depending on the reflection coefficient **r** of the device under test. This part **b** of the signal is a measure of the complex reflection coefficient **r** of the device under test. Intelligent indicators such as the Vector Analyzer ZPV (data sheet PD 756.4214) convert the measured reflection coefficient into other parameters, e.g. the impedance or admittance of the device under test. In this case, display is possible as magnitude and phase as well as real and imaginary quantities.

Measurement accuracy



The measurement accuracy is determined by two effects:

1. The finite directivity of the SWR Bridge; the error signal is coupled directly to the bridge output (dotted signal path D).
2. Multiple reflections between the device under test and the test port; it is enough for the estimation of the error to consider one reflection only (dashed signal path **s**).

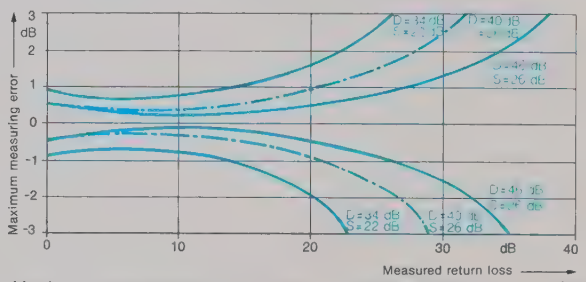
The approximate relationship between the input signal **a** and the output signal **b** is:

$$b = T \times (D + r + S \times r^2) \times a$$

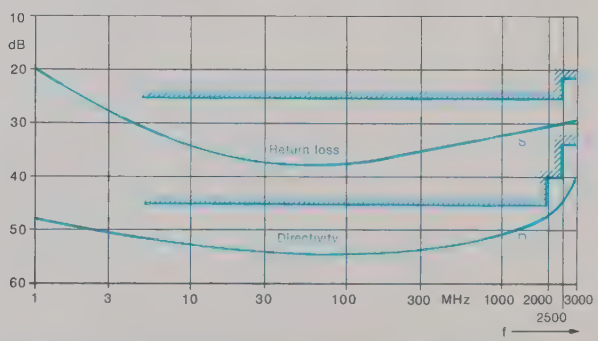
where T = insertion loss, D = directivity, S = return loss at the test port of the SWR Bridge and r = reflection coefficient of the device under test.

This equation shows that measurement of small reflection coefficients will be detrimentally affected by the finite directivity D of the SWR Bridge. The relative measurement error increases with decreasing reflection coefficient. Reflection coefficients that are smaller than the directivity of the bridge cannot be measured directly. With measurements of large reflection coefficients, this error can be neglected. The error of the measurement depends on the mismatch of the test port of the SWR Bridge. With a directivity of 46 dB and a return loss at the test port of 26 dB, the maximum absolute error as a function of the reflection coefficient to be measured will be $0.005 + 0.05\ |r|^2$.

The diagram below shows the maximum measurement error to be expected with respect to the measured return loss and allows a quantitative determination of this relationship. The plotted curves represent the highest possible positive and negative deviations of the measured value from the true value of the return loss. It is to be noted that these values are the specified limit values of the ZRB 2. For the lower and middle frequency ranges both the return loss at the test port (typ. >28 dB) and the directivity (typ. >50 dB) are higher than shown. Any measurement uncertainty that then occurs is lower than the limits plotted and can in most cases be neglected for practical measurements.



Maximum measurement errors with an assumed return loss at the test port of 22 and 26 dB (SWR = 1.17 and 1.1) and a directivity of 34, 40 and 46 dB



Precision model ZRB 2 (50 Ω): typical response and tolerance limits of return loss S at test port and directivity D

Specifications

	Precision model (50 Ω)	Standard model (50 Ω)	Standard model (75 Ω)
Frequency range	5 to 3000 MHz	5 to 2500 MHz	5 to 2000 MHz
Characteristic impedance	50 Ω	50 Ω	75 Ω
Directivity	≥46 dB up to 2 GHz, ≥40 dB up to 2.5 GHz, ≥34 dB up to 3 GHz	≥40 dB	≥40 dB
Return loss at test port	≥26 dB up to 2.5 GHz, ≥22 dB up to 3 GHz	≥23 dB	≥20 dB up to 1.5 GHz, ≥18 dB up to 2 GHz
Measurement error ($\|r\|$ = magnitude of measured reflection coefficient)	$0.005 + 0.05\ \|r\|^2$ up to 2 GHz, $0.01 + 0.05\ \|r\|^2$ up to 2.5 GHz, $0.02 + 0.08\ \|r\|^2$ up to 3 GHz	$0.01 + 0.07\ \|r\|^2$	$0.01 + 0.1\ \|r\|^2$ up to 1.5 GHz, $0.01 + 0.13\ \|r\|^2$ up to 2 GHz
Insertion loss (5 MHz)			
Total	13 dB	13 dB	14 dB
Input — test port	7 dB	7 dB	8 dB
Test port — output	6 dB	6 dB	6 dB
Power-handling capacity	0.5 W	0.5 W	0.5 W

Note: Strong magnetic fields may affect the rated characteristics of the SWR Bridge.

General data

Nominal temperature range	0 to +50 °C
Storage temperature range	−40 to +70 °C
Connectors	N female
Test port connector	N female or N male
Dimensions without connectors (L x W x H)	72 mm x 57 mm x 20 mm
Connector length, female	17 mm
male	19 mm
Weight	240 g

Ordering information

Order designation	▶ SWR Bridge ZRB 2
50 Ω, 5 to 3000 MHz, test port connector, female	373.9017.52
male	373.9017.55
50 Ω, 5 to 2500 MHz, test port connector, female	373.9017.53
male	373.9017.56
75 Ω, 5 to 2000 MHz, test port connector, female	802.1018.73
male	802.1018.76

ROHDE&SCHWARZ
GmbH & Co. KG. · D-8000 München 80 · Mühldorfstr. 15 · Tel. (089) 4129-0 · Telefax (089) 4129-2164 · Telex 523703
Printed in the Fed. Rep. of Germany · Subject to change · Data without tolerances: order of magnitude only
889 (U dr)

Supplement
to Manual
SWR BRIDGE
ZRB2

Note:

To avoid an impairment of the Specifications, the ZRB2 shouldn't be situated close to strong magnetic fields.

1 Use and Characteristics

1.1 Typical Uses

The SWR Bridge ZRB2 is a reflection coefficient measurement bridge and is used to measure the magnitude and phase of reflection coefficients of devices-under-test such as filters, attenuators, diplexers, directional couplers, amplifiers, mixers or terminating impedances. By conversion, the reflection coefficient yields the reflection attenuation, the standing wave ratio and the impedance of the device-under-test (see section 2.3). Fig. 1 shows a typical test setup where the SWR Bridge ZRB2 is used with a sweep generator and an indicator. Particularly suitable for such a setup are Sweep Generator SWP, and as indicator, Polyskop SWOB5, scalar Network Analyzer ZAS and Vector Analyzer ZPV; all from Rohde & Schwarz.

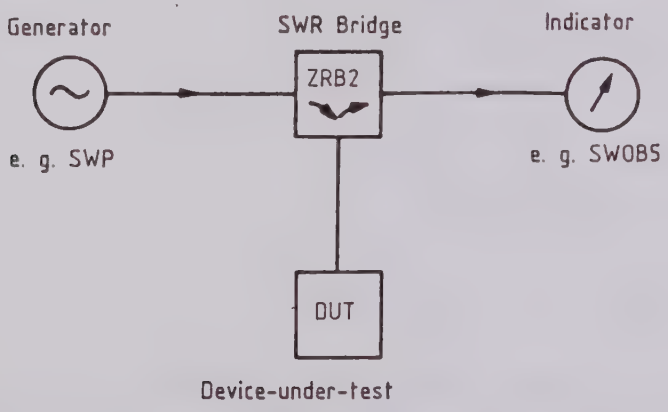


Fig. 1 Typical test setup for measuring the reflection coefficient of a device-under-test

The output signal from the generator is fed via the SWR Bridge ZRB2 to the device-under-test. Dependent on the reflection coefficient of the device-under-test, a part of the signal is reflected via the SWR bridge to the indicator. The signal applied to the input of the indicator is, with respect to phase and magnitude, a measure of the reflection coefficient r of the device-under-test. According to the type of indicator used, either the magnitude or magnitude and phase of the reflection coefficient is determined and displayed. Due to the high directivity of the SWR Bridge ZRB2 and the low reflection coefficient at the device-under-test connector on the bridge, measurements of high accuracy can be carried out.

1.2 Limits of Measurement Accuracy

Because of the unavoidable mechanical and electrical tolerances of the components used, it is not possible to manufacture a SWR bridge with completely ideal characteristics over the whole frequency range. The measurement errors caused are explained with reference to Fig. 2.

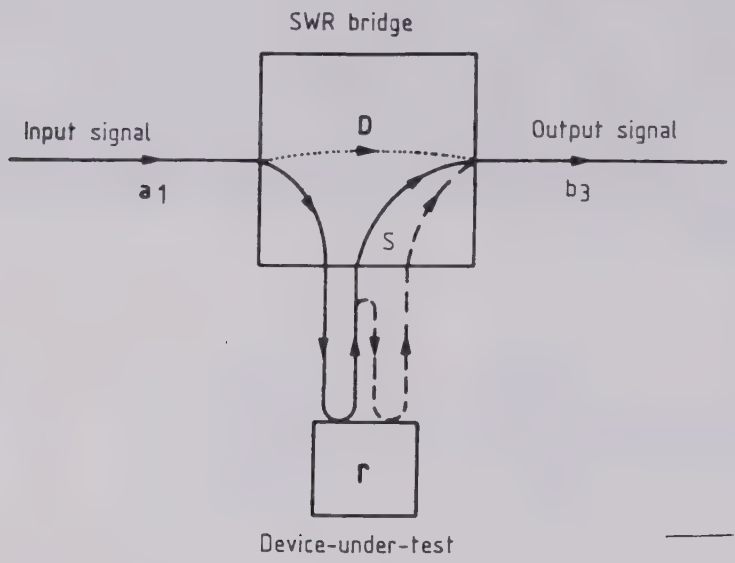


Fig. 2 Causes of measurement errors

Apart from the useful signal, whose path is shown in Fig. 2 as a solid line, a small part of the input signal directly reaches the output of the bridge (see dotted signal path). This is, in effect, crosstalk and is due to the finite directivity of the SWR bridge. A further error is caused by the input reflection coefficient S of the connector on the bridge for the device-under-test. A part of the signal reflected from the device-under-test is reflected back again by the device-under-test connector on the bridge. This signal is again partly reflected and eventually reaches the bridge (see dashed signal path). Neglecting multiple reflections at the bridge, the following relationship can be derived between the output signal b_3 and the input signal a_1 of the bridge.

$$b_3 = T\,(D + r + Sr^2)\,a_1 \qquad (1)$$

where T = transmission loss

D = directivity

r = reflection coefficient of device-under-test

S = reflection coefficient of device-under-test connector on bridge

From equation (1) it can be seen that measurements of small reflection coefficients will be detrimentally affected by the finite directivity of the bridge. The relative measurement error increases with decreasing reflection coefficient. Reflection coefficients that are smaller than the directivity of the bridge cannot be measured.

With measurements of large reflection coefficients, the error introduced by the finite directivity of the bridge can be neglected. The accuracy of the measurement is now determined by the mismatch at the device-under-test connector.

2 Operation

2.1 Test Setup

The SWR Bridge ZRB2 is equipped with three N-type sockets (see Fig. 3).

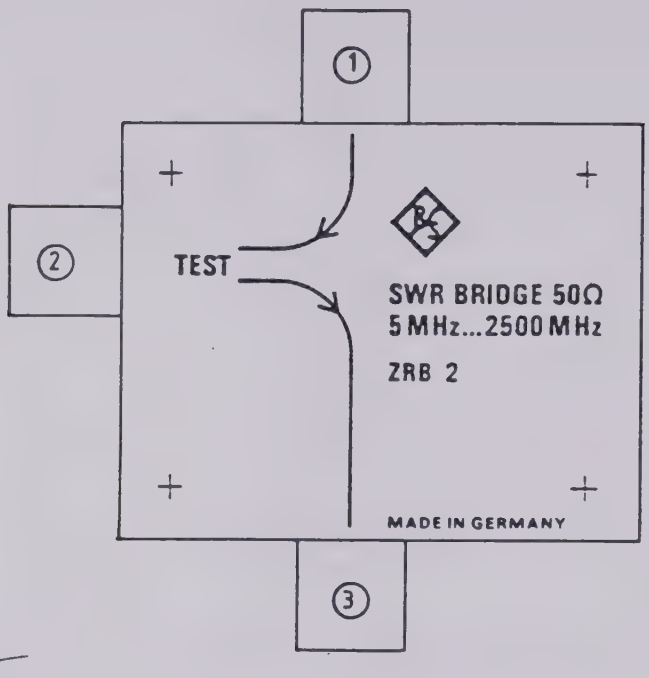


Fig. 3 Operation of the SWR Bridge ZRB2

The signal source (e.g. Sweep Generator SWP from Rohde & Schwarz) is usually applied to the connector of the bridge marked 1 in Fig. 3. If possible, the device-under-test is connected directly to connector 2 in order to avoid cable reflections interferring with the measurement. At the output, connector 3 of the bridge, a voltage is available which is proportional to the magnitude and phase of the reflection coefficient of the device-under-test. By use of a detector, this can be directly converted into a DC voltage or (via an N-type cable) connected to the measurement input of a scalar or vector network analyzer (e.g. Polyskop SWOB5, scalar Network Analyzer ZAS or Vector Analyzer ZPV).

In addition, it is to be noted that the bridge can be operated "inversely". The signal source is then connected to connector 3 and the indicator to connector 1. As before, the device-under-test is connected to connector 2. This arrangement enables the different insertion losses between the various connectors of the bridge to be used to advantage in certain measurement problems. The insertion loss between connectors 2 and 3 is typically 1 dB less than that between connectors 1 and 2.

2.2 Measuring the Reflection Coefficient

To measure the reflection coefficient r of a device-under-test, it is first necessary to calibrate the test setup for a total reflection. This requires a reflection coefficient $|r| = 100\%$ to be achieved. (This corresponds to a return loss of a = 0 dB.) The simplest technique is to disconnect the device-under-test and thus derive and open-circuit calibration line. This calibration line represents the 0-dB reference line for all further measurements.

It should be noted that for very precise measurements, the open-circuit calibration line can deviate from the true 0-dB calibration line by a few tenths of dB because of the small but finite reflection coefficient of the device-under-test connector on the bridge. For precision measurements it is therefore recommended to carry out an additional calibration, whereby the device-under-test connector on the bridge is short circuited. The mean of the short-circuit and open-circuit calibration lines corresponds to the true 0-dB calibration line.

By reducing the output level of the signal generator, e.g. in 10-dB steps, further calibration lines (10 dB, 20 dB etc.) can be derived for specific return losses.

If an indicator with a logarithmic display is used, e.g. SWOB5 with plug-in E3, any desired value of the return loss can be simply determined with the aid of a digital display. Thus a useful addition to the test setup is the Digital Display Store BDS from Rohde & Schwarz, whereby the ease of measurement is increased and, for instance, the comparison of different devices is greatly simplified.

2.3 Conversion

Standard scalar indicators with logarithmic displays determine the return loss of a device-under-test in dB. From this, the magnitude of the reflection coefficient of the device in percent and the standing wave ratio (SWR) can be derived. The relationships between the parameters are given by the following formulae:

with r = reflection coefficient of the device-under-test
a = return loss in dB
s = standing wave ratio

$$a = -20 \cdot \log|r| \qquad |r| = 10^{-0.05 \times a}$$

$$s = \frac{1 + |r|}{1 - |r|} \qquad |r| = \frac{s - 1}{s + 1} \qquad (2)$$

The measured value can easily be converted by using Table 1 or Fig. 7 which is also imprinted on the case of the SWR bridge.

Once the magnitude and in addition the phase of the measured reflection coefficient have been evaluated, the impedance of the device-under-test can be calculated with equation (3). Z_0 is the characteristic impedance (e.g. Z_0 = 50 Ω or 75 Ω).

$$Z = \frac{1 + r}{1 - r} \cdot Z_0 \qquad (3)$$

The impedance of a device can be derived by use of a Smith chart (see appendix).

2.4 Estimating Measurement Errors

Measurement errors can be caused by the finite directivity of the bridge and by reflections at the device-under-test connector.

As indicated by equation (1), measurements of small reflection coefficients are influenced by the directivity D of the bridge. Due to the vectorial superposition of the useful signal and the interference signal caused by the finite directivity of the bridge, an uncertainty exists in the determination of the reflection coefficient r of the device-under-test. Fig. 4 shows this graphically.

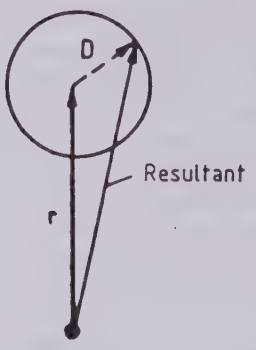


Fig. 4 Vectorial superposition of useful signal and directivity

Because of the phase angle between the useful signal r and the directivity D, the resultant, which is all that can in fact be measured, may have the limit values of $|r| + D$ or $|r| - D$. Alternatively, the measured value may deviate from the true value of the reflection coefficient by a maximum of $\pm D$.

The error limits of logarithmic evaluation can be determined with the aid of Table 2 (see appendix). In the limiting case, where the reflection coefficient is as small as the directivity (x = 0 dB in Table 2), the phasors may either be doubled or reduced to zero. The maximum measurement error is then +6 dB or $-\infty$ dB.

With measurements of large reflection coefficients, measurement errors which can be caused by the finite directivity of the bridge are less than 0.1 dB and thus can be neglected. The error limits are then determined by the reflection coefficient of the device-under-test connector. As can be seen from equation (1), the greatest measurement uncertainty is when measuring a return loss of 0 dB, i.e. total reflection. The maximum measurement error that can be expected can also be taken from Table 2. With an input return loss at the device-under-test connector of 25 dB, for instance, a maximum measurement error of approximately ±0.5 dB is possible when measuring large reflection coefficients.

In general, however, the majority of results of practical measurements of return loss will lie within the middle of the range of values. The maximum error measurement errors to be expected are then smaller than the two limit cases. A quantitative description of this relationship is given in the appendix (Fig. 9).

3.1 Recommended Measuring Instruments

A generator and an indicator (e.g. Sweep Generator SWP and Polyskop SWOB5 from R&S) are required to check the specifications of the SWR Bridge ZRB2. In addition, a precision terminating impedance, a short-circuit connector and for checking the matching, a further SWR bridge and terminating impedance are required.

3.2 Checking the Matching

The matching at the device-under-test connector of the SWR bridge can be checked with a test setup similar to that shown in Fig. 1 (see section 1.1). A second SWR Bridge ZRB2 is required. The device-under-test connector of this second bridge (connector is identified with TEST) is connected either direct or via an adapter to the device-under-test connector of the bridge to be tested. The two remaining connectors of the bridge-under-test are terminated with reflectionless terminating impedances. The matching at the device-under-test connector of the tested bridge can now be directly determined just as with any other test item.

If a second SWR bridge is not available, an indication of the matching of the device-under-test connector can be gained from transmission measurements on the bridge-under-test (see section 3.3).

3.3 Checking the Insertion Loss

The insertion loss of the SWR bridge can also be checked with the test setup in Fig. 1. First the bridge is removed and the indicator connected directly to the generator. The display is calibrated to 0 dB. Now connect the SWR bridge to be tested to the setup as shown in Fig. 1. The device-under-test connector remains unterminated. The insertion loss can now be directly measured.

If the device-under-test connector of the bridge is short circuited, the insertion loss value deviates slightly due to the imperfect matching of the SWR bridge. The matching S at the device-under-test connector corresponds to the data given in the specifications, if the difference 1 ± x (see table 2 on page 24) between the open- and short circuit measurement results does not exceed the values given in the following table:

S	1 ± x
26 dB	0.9 dB
23 dB	1.3 dB
22 dB	1.4 dB
20 dB	1.8 dB
18 dB	2.2 dB

3.4 Checking the Directivity

The test setup in Fig. 1 can also be used to check the directivity. After a 0-dB calibration and with the device-under-test connector being open circuit, a precision terminating impedance is connected. With the reflection coefficient of this terminating impedance taken into account, the display indicates the directivity of the SWR bridge.

In this way, large reductions in the directivity of the SWR bridge can be detected. The directivity of a serviceable bridge is, however, not so readily measureable in the higher frequency range since the required terminating impedances cannot be manufactured with the necessary precision.

4 Description

4.1 Principle of Resistive Couplers

Wide-band reflectometer circuits cannot be realised by use of the common directional coupler, e.g. line coupler, since these only exhibit a bandwidth of a few octaves. In contrast, however, use of resistive couplers enable very wide bandwidths to be achieved. The specified frequency range of the SWR Bridge ZRB2 is, for instance, 5 MHz to 2.5 GHz corresponding to a bandwidth of nine octaves.

The basic circuit of resistive couplers (see Fig. 5) resembles the familiar Wheatstone bridge.

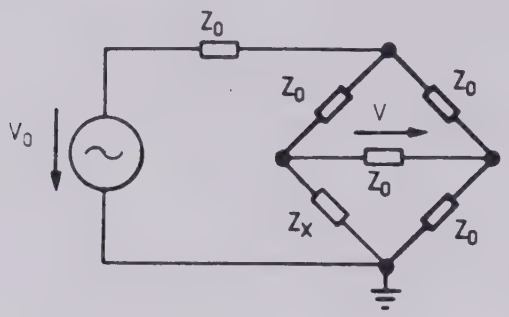


Fig. 5 Principle of resistive couplers

In this bridge circuit, the unknown impedance Z_X is compared with the reference impedance Z_0. Unlike the Wheatstone bridge circuit, the voltage V across the bridge diagonal is not adjusted to zero but it is measured and then evaluated. As can easily be shown, voltage V is given by equation (4).

$$V = \frac{1}{8} \cdot \frac{Z_X - Z_0}{Z_X + Z_0} \cdot V_0 \qquad (4)$$

As can be seen, voltage V is a measure of the magnitude and phase of the reflection coefficient:

$$r = \frac{Z_X - Z_0}{Z_X + Z_0} \qquad \text{where } Z_X = \text{impedance of device-under-test}$$

4.2 Design of the SWR Bridge

The SWR Bridge ZRB2 consists of the three heavily outlined impedances Z_0 in Fig. 5. Impedance Z_0 in the bridge diagonal is the internal impedance of the indicator and not a component part of the bridge; the same applies to the internal impedance Z_0 of the source. The signal source, the indicator and the device-under-test are connected to the SWR bridge via N-series coaxial connectors. To prevent the arms of the bridge from being short circuited, the voltage across the bridge diagonal must be tapped symmetrically with respect to ground. This is achieved by the balun shown in Fig. 6. It consists of a coaxial cable whose inner conductor is connected to the left-hand junction of the bridge diagonal and whose outer conductor is connected to the right-hand junction.

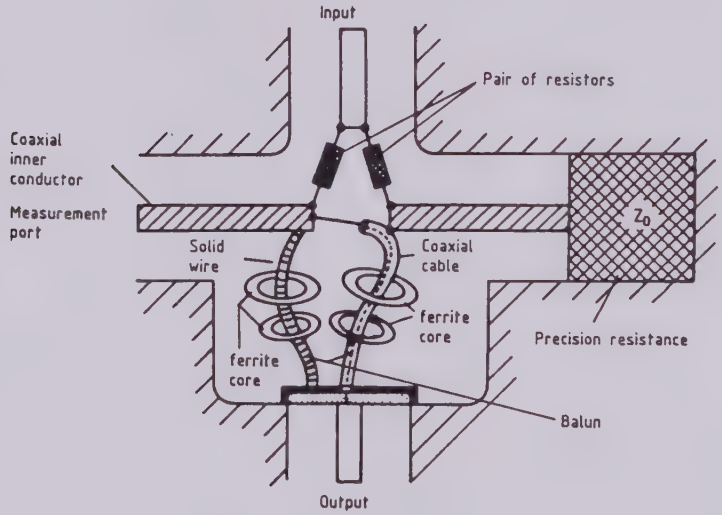


Fig. 6 Bridge schematic

The possibility of connecting the right-hand junction of the diagonal of the bridge to ground via the outer conductor of the coaxial cable is prevented by ferrite cores. These define the lower frequency limit of the SWR bridge. In order to achieve a wide bandwidth, two different types of ferrite cores are used in the SWR Bridge ZRB2. Nevertheless, the outer-conductor impedance of the coaxial cable is not infinitely high resulting in an unsymmetry of the bridge which brings about a deterioration of the directivity. To prevent this, the bridge must be made to balance. This is achieved by connecting a solid wire with ferrite cores to the left-hand junction of the bridge diagonal which "simulates" the outer-conductor impedance of the coaxial cable and tends to balance the bridge. The two ferrite cores on the simulated outer conductor are also of different type. To ensure that the quality of the SWR bridge is high, i.e. high directivity, the coaxial cable and the simulated outer conductor are constructed to be as mirror-symmetrical as possible.

A disadvantage is that the simulated outer conductor reduces the input impedance of the device-under-test connector. However, this can be compensated for by suitable selection of the heavily outlined impedances in Fig. 5. It can be shown that the three resistors need not have the value of Z_0. It is sufficient to have the upper pair as equal as possible and to use for the third impedance a precision resistance (see Fig. 6). In the SWR Bridge ZRB2, the value of the upper pair of resistors is selected to be greater than Z_0. In this way, the reduction in input impedance caused by the simulated outer conductor is compensated for and a good match of the device-under-test connector is achieved without influencing the directivity of the bridge. The precision resistance is a thin-film device. This allows the impedance of 50 Ω or 75 Ω to be as closely purely resistive as possible for the complete specified frequency range of the ZRB2.

5 Repair

Any defects that occur to the SWR bridge should only be remedied at the factory to ensure that the specifications are maintained. Please contact the nearest R&S representative.

6 Appendix

6.1 Conversion Table and Chart

Table 1 shows the relationship between the magnitude of the reflection coefficient r of the device under test in percent, the return loss a in dB and the standing wave ratio SWR. Fig. 7 is a graphical representation of Table 1. The relevant conversion formulae are given in section 2.3 (see equation (2)).

Table 1: Conversion table for the parameters r, a and SWR

Reflection coefficient |r| in %	Return loss a	Standing wave ratio SWR
100.0000	0 dB	∞
89.1251	1 dB	17.3910
79.4328	2 dB	8.7242
70.7946	3 dB	5.8480
63.0957	4 dB	4.4194
56.2341	5 dB	3.5698
50.1187	6 dB	3.0095
44.6684	7 dB	2.6146
39.8107	8 dB	2.3229
35.4813	9 dB	2.0999
31.6228	10 dB	1.9250
28.1838	11 dB	1.7849
25.1189	12 dB	1.6709
22.3872	13 dB	1.5769
19.9526	14 dB	1.4985
17.7828	15 dB	1.4326
15.8489	16 dB	1.3767
14.1254	17 dB	1.3290
12.5893	18 dB	1.2880
11.2202	19 dB	1.2528
10.0000	20 dB	1.2222
8.9125	21 dB	1.1957
7.9433	22 dB	1.1726
7.0795	23 dB	1.1524
6.3096	24 dB	1.1347
5.6234	25 dB	1.1192
5.0119	26 dB	1.1055
4.4668	27 dB	1.0935
3.9811	28 dB	1.0829
3.5481	29 dB	1.0736
3.1623	30 dB	1.0653
2.8184	31 dB	1.0580
2.5119	32 dB	1.0515
2.2387	33 dB	1.0458
1.9953	34 dB	1.0407
1.7783	35 dB	1.0362
1.5849	36 dB	1.0322
1.4125	37 dB	1.0287
1.2589	38 dB	1.0255
1.1220	39 dB	1.0227
1.0000	40 dB	1.0202
0.8913	41 dB	1.0180
0.7943	42 dB	1.0160
0.7079	43 dB	1.0143
0.6310	44 dB	1.0127
0.5623	45 dB	1.0113
0.5012	46 dB	1.0101

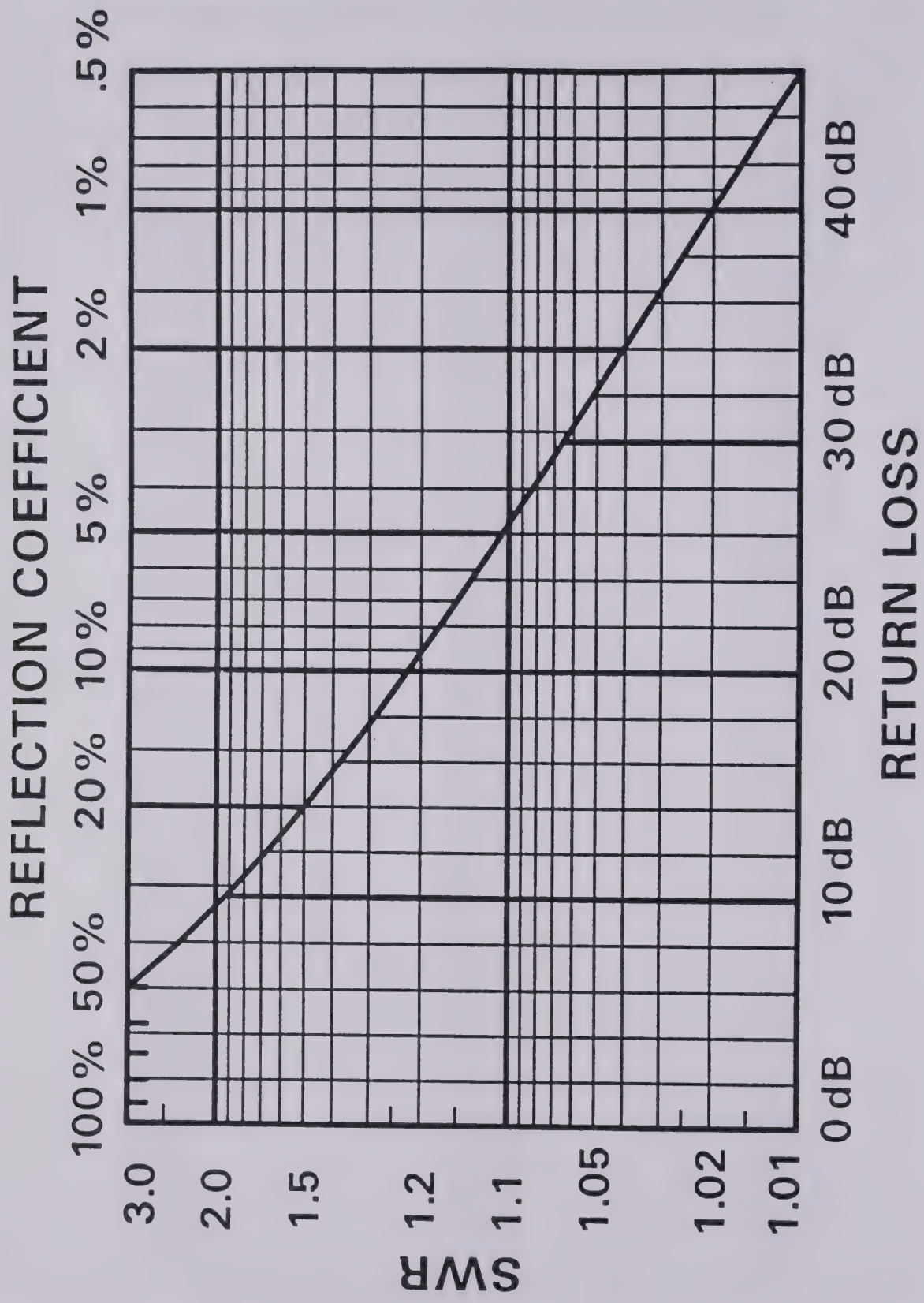


Fig. 7 Graphical representation of conversion table

6.2 Smith Chart

The relationship between the impedance Z of a device and its reflection coefficient r is given by equation (3) in section 2.3, i.e.:

$$Z = \frac{1 + r}{1 - r} \cdot Z_0$$

where Z_0 is the characteristic impedance (e.g. Z_0 = 50 Ω or 75 Ω).

This relationship is graphically represented by the Smith chart. After measuring the reflection coefficient r of a device in both magnitude and phase, its impedance Z can be easily determined by use of the Smith chart (see Fig. 8).

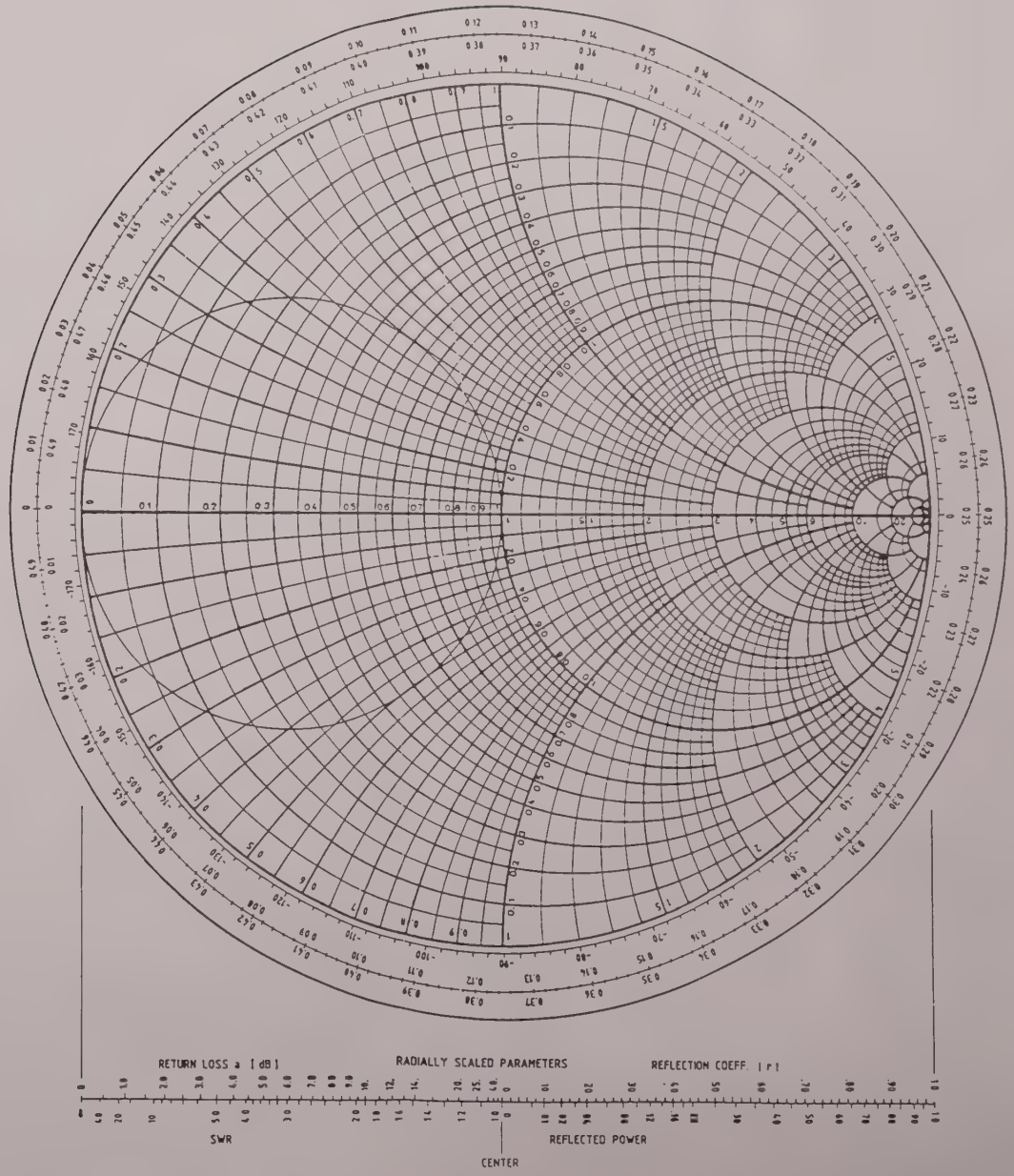


Fig.8: Smith Chart

6.3 Error Estimation

As already explained in section 2.4, the evaluation of the reflection coefficient of a device-under-test is subject to errors due to the finite directivity of the SWR bridge. Using Table 2, the maximum measurement errors can be determined as a function of the reflection coefficient to be measured and of the directivity of the SWR bridge.

The values given in Table 2 are normalized to the reflection coefficient to be measured. In the fourth column, value x gives by how many dB the directivity of the SWR bridge is higher than the return loss to be measured. The two following columns give the error limits within which the true value of the return loss lies. The last column lists the error span in dB. In order to give a better overview, the relationships between the standing wave ratio, the reflection coefficient and the return loss are given once again.

Fig. 9 allows a quantitative determination of the maximum measurement error with respect to the measured return loss. The plotted curves represent the highest possible positive and negative deviations of the measured value from the true value of the return loss. In using Fig. 9, it is necessary to take into consideration not only the finite directivity of the SWR bridge but also an input reflection coefficient. It is to be noted, that these values represent the specified limit values of the ZRB2. In the middle of the frequency range of the SWR bridge, the directivity in particular is higher than given. Any measurement uncertainty that then occurs is lower than the limits plotted in Fig. 9.

Table 2

SWR	|r|	a [dB]	x [dB]	1 + x [dB]	1 - x [dB]	1 ± x [dB]
∞	1.0000	0	0	6.0206	- ∞	∞
17.3910	.8913	1	1	5.5350	-19.2715	24.8065
8.7242	.7943	2	2	5.0780	-13.7365	18.8145
5.8480	.7079	3	3	4.6495	-10.6907	15.3402
4.4194	.6310	4	4	4.2489	-8.6585	12.9073
3.5698	.5623	5	5	3.8755	-7.1773	11.0528
3.0095	.5012	6	6	3.5287	-6.0412	9.5699
2.6146	.4467	7	7	3.2075	-5.1405	8.3480
2.3229	.3981	8	8	2.9108	-4.4096	7.3204
2.0999	.3548	9	9	2.6376	-3.8063	6.4439
1.9250	.3162	10	10	2.3866	-3.3018	5.6884
1.7849	.2818	11	11	2.1567	-2.8756	5.0322
1.6709	.2512	12	12	1.9465	-2.5126	4.4590
1.5769	.2239	13	13	1.7547	-2.2013	3.9561
1.4985	.1995	14	14	1.5802	-1.9331	3.5133
1.4326	.1778	15	15	1.4216	-1.7007	3.1224
1.3767	.1585	16	16	1.2778	-1.4988	2.7766
1.3290	.1413	17	17	1.1476	-1.3227	2.4703
1.2880	.1259	18	18	1.0299	-1.1687	2.1986
1.2528	.1122	19	19	.9237	-1.0337	1.9574
1.2222	.1000	20	20	.8279	-.9151	1.7430
1.1957	.0891	21	21	.7416	-.8108	1.5524
1.1726	.0794	22	22	.6639	-.7189	1.3828
1.1524	.0708	23	23	.5941	-.6378	1.2319
1.1347	.0631	24	24	.5314	-.5661	1.0975
1.1192	.0562	25	25	.4752	-.5027	.9779
1.1055	.0501	26	26	.4248	-.4466	.8714
1.0935	.0447	27	27	.3796	-.3969	.7765
1.0829	.0398	28	28	.3391	-.3529	.6919
1.0736	.0355	29	29	.3028	-.3138	.6166
1.0653	.0316	30	30	.2704	-.2791	.5495
1.0580	.0282	31	31	.2414	-.2483	.4897
1.0515	.0251	32	32	.2155	-.2210	.4365
1.0458	.0224	33	33	.1923	-.1967	.3890
1.0407	.0200	34	34	.1716	-.1751	.3467
1.0362	.0178	35	35	.1531	-.1558	.3090
1.0322	.0158	36	36	.1366	-.1388	.2753
1.0287	.0141	37	37	.1218	-.1236	.2454
1.0255	.0126	38	38	.1087	-.1100	.2187
1.0227	.0112	39	39	.0969	-.0980	.1949
1.0202	.0100	40	40	.0864	-.0873	.1737
1.0180	.0089	41	41	.0771	-.0778	.1548
1.0160	.0079	42	42	.0687	-.0693	.1380
1.0143	.0071	43	43	.0613	-.0617	.1230
1.0127	.0063	44	44	.0546	-.0550	.1096
1.0113	.0056	45	45	.0487	-.0490	.0977
1.0101	.0050	46	46	.0434	-.0436	.0871
1.0090	.0045	47	47	.0387	-.0389	.0776
1.0080	.0040	48	48	.0345	-.0346	.0692
1.0071	.0035	49	49	.0308	-.0309	.0616
1.0063	.0032	50	50	.0274	-.0275	.0549
1.0057	.0028	51	51	.0244	-.0245	.0490
1.0050	.0025	52	52	.0218	-.0218	.0436
1.0045	.0022	53	53	.0194	-.0195	.0389
1.0040	.0020	54	54	.0173	-.0173	.0347
1.0036	.0018	55	55	.0154	-.0155	.0309
1.0032	.0016	56	56	.0138	-.0138	.0275
1.0028	.0014	57	57	.0123	-.0123	.0245
1.0025	.0013	58	58	.0109	-.0109	.0219
1.0022	.0011	59	59	.0097	-.0098	.0195
1.0020	.0010	60	60	.0087	-.0087	.0174

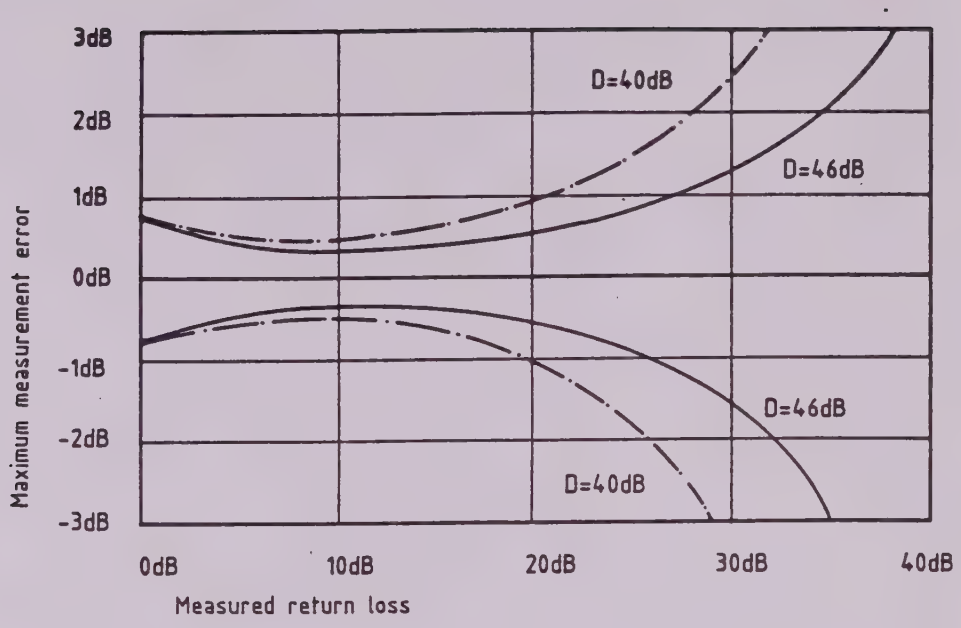


Fig. 9 Measurement error
Solid curve: D = 46 dB
Dashed curve: D = 40 dB

Supplément au manuel relatif au Pont de mesure du ROS ZRB2

Note :

Pour ne pas entraver les caractéristiques techniques, il faut éviter de situer le pont de mesure ROS ZRB2 près de forts champs magnétiques.

Table des matières

		Page
1	Caractéristiques	5
1.1	Utilisation	5
1.2	Limites de la précision de mesure	6
2	Exploitation	8
2.1	Montage de mesure	8
2.2	Mesure du coefficient de réflexion	9
2.3	Conversion	10
2.4	Estimation des erreurs de mesure	11
3	Maintenance	13
3.1	Appareils de mesure nécessaires	13
3.2	Vérification de l'adaptation	13
3.3	Vérification de l'atténuation d'insertion	13
3.4	Vérification de la directivité	14
4	Description	15
4.1	Principe d'un coupleur résistif	15
4.2	Conception du pont de mesure	16
5	Dépannage	18
6	Annexe	19
6.1	Tableau et diagramme de conversion	19
6.2	Abaque de Smith	22
6.3	Estimation des erreurs	24

ROHDE&SCHWARZ

Manuel

PONT DE MESURE DU ROS ZRB2 (50 Ω)

373.9017.52
373.9017.53
373.9017.55
373.9017.56

PONT DE MESURE DU ROS ZRB2 (75 Ω)

802.1018.73
802.1018.76

1 Caractéristiques

1.1 Utilisation

Le pont de mesure du ROS ZRB 2 sert à mesurer le module et la phase du coefficient de réflexion d'objets en essai tels que filtres, atténuateurs, diplexeurs, coupleurs directionnels, amplificateurs, mélangeurs ou résistances de terminaison. Par conversion du coefficient de réflexion il est possible de déterminer l'atténuation d'adaptation, le rapport d'onde stationnaire et l'impédance de l'objet en essai (voir le chapitre 2.3). La figure 1 montre un montage de mesure typique qui contient, outre le ZRB 2, un générateur vobulateur et un indicateur. Le générateur vobulateur SWP, le Polyskop SWOB 5 utilisé comme indicateur, l'analyseur scalaire de réseau ZAS et l'analyseur vectoriel ZPV de Rohde & Schwarz sont particulièrement indiqués pour un tel montage de mesure.

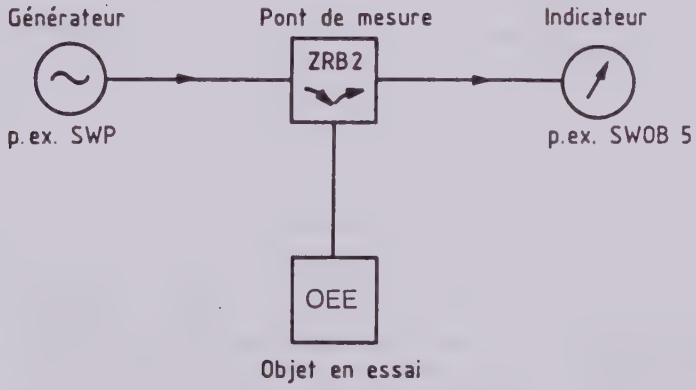


Fig. 1 Montage de mesure typique pour la détermination du coefficient de réflexion d'un objet en essai

Le signal provenant du générateur passe par le pont de mesure et arrive à l'objet en essai, où une partie du signal est réfléchie en fonction du coefficient de réflexion de l'objet en essai et ensuite acheminée via le pont de mesure vers l'indicateur. Ainsi, le signal à l'entrée de l'indicateur représente une mesure du coefficient de réflexion en module et en phase de l'objet en essai. Suivant la nature de l'indicateur utilisé, on peut déterminer et afficher le coefficient de réflexion en module et en phase ou en module seulement. Grâce à la directivité élevée du pont de mesure ZRB 2 et au faible coefficient de réflexion du connecteur pour l'objet en essai, les mesures peuvent être effectuées avec grande précision.

1.2 Limites de la précision de mesure

Vu les tolérances mécaniques et électriques inévitables des composants utilisés, il est impossible de réaliser un pont de mesure du ROS dont les caractéristiques sont idéales dans toute la gamme de fréquence. Les erreurs de mesure en résultant sont illustrées par la figure 2.

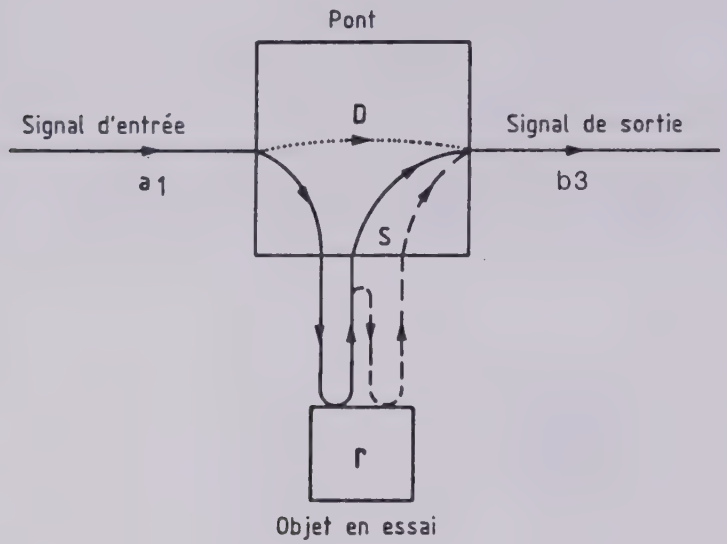


Fig. 2 Sources d'erreurs de mesure

Outre le signal utile, dont la voie est indiquée par un trait plein sur la figure 2, une petite partie du signal appliqué est envoyée directement à la sortie du pont de mesure sans atteindre l'objet en essai. Cela signifie une diaphonie qui est due à la directivité D finie du pont de mesure (voir ligne en pointillé). Une autre erreur est provoquée par le coefficient de réflexion S du connecteur prévu sur le pont de mesure pour le raccordement de l'objet en essai. Une partie du signal réfléchi par l'objet en essai est réfléchie au connecteur pour l'objet en essai et arrive de nouveau à l'objet en essai. Là, le signal est encore une fois réfléchi partiellement et enfin renvoyé au pont de mesure (voir ligne en tirets). A condition que les réflexions multiples pouvant apparaître au pont de mesure soient négligées, on obtient la relation suivante entre le signal de sortie b_3 et le signal d'entrée a_1 du pont de mesure:

$$b_3 = T\,(D + r + Sr^2)\,a_1 \qquad (1)$$

où T = les pertes de transmission

D = la directivité

r = le coefficient de réflexion de l'objet en essai

S = le coefficient de réflexion du connecteur pour l'objet en essai

Il découle de l'équation (1) que la mesure de petits coefficients de réflexion est affectée par la directivité D finie du pont de mesure. L'erreur de mesure relative s'accroît au fur et à mesure que le coefficient de réflexion diminue. Un coefficient de réflexion qui est inférieur à la directivité du pont de mesure n'est pas mesurable de manière directe.

Lors de la mesure de grands coefficients de réflexion, l'erreur due à la directivité finie du pont de mesure est négligeable. Dans ce cas, la précision de mesure est déterminée par la désadaptation du connecteur pour l'objet en essai.

2 Exploitation

2.1 Montage de mesure

Le pont de mesure du ROS ZRB 2 est doté de trois connecteurs N femelles (voir la figure 3).

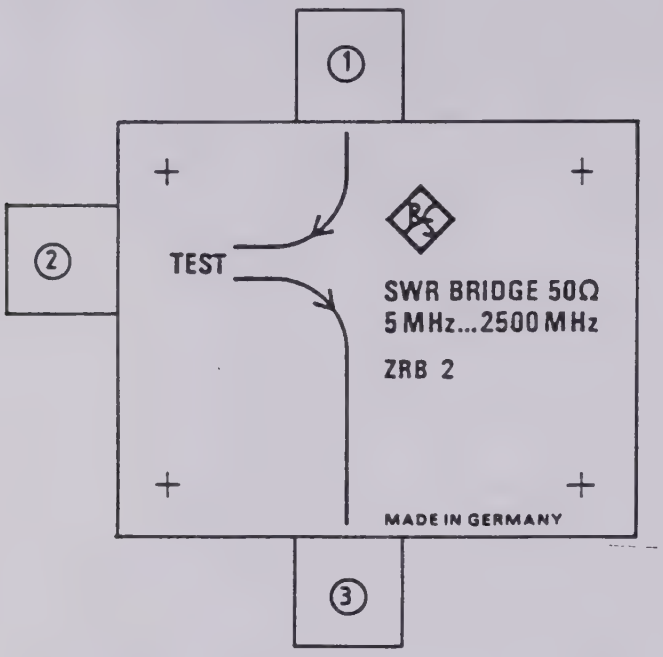


Fig. 3 Connecteurs du pont de mesure

Le connecteur 1 est normalement destiné au raccordement du générateur de signaux (p. ex. le générateur vobulateur SWP de Rohde & Schwarz). L'objet en essai devrait être directement relié au connecteur 2 pour que la mesure ne soit pas affectée par des réflexions dues au câble. La sortie 3 présente une tension qui est proportionnelle au module et à la phase du coefficient de réflexion de l'objet en essai. Cette tension peut être rectifiée à l'aide d'un détecteur ou appliquée (via un câble N) à l'entrée de mesure d'un analyseur scalaire ou vectoriel de réseau (p. ex. le Polyskop SWOB 5, l'analyseur scalaire de réseau ZAS ou l'analyseur vectoriel ZPV).

Il est à noter que le ZRB 2 peut en plus être exploité "en sens inverse". Dans ce cas, le générateur de signaux sera raccordé au connecteur 3, alors que l'indicateur sera branché sur le connecteur 1. Le connecteur 2 est toujours prévu pour l'objet en essai. Ce montage permet de résoudre certains problèmes de mesure en tirant avantage des atténuations d'insertion différentes existant entre les connecteurs du pont de mesure. L'atténuation d'insertion entre les connecteurs 2 et 3 est inférieure de la valeur typique de 1 dB à celle entre les connecteurs 1 et 2.

2.2 Mesure du coefficient de réflexion

Avant de mesurer le coefficient de réflexion r d'un objet en essai, il faut calibrer le montage de mesure pour une réflexion totale. A cette fin, un coefficient de réflexion de $|r| = 100\ \%$ est exigé, ce qui correspond à une atténuation d'adaptation de $a = 0$ dB. La méthode la plus simple est de débrancher l'objet en essai pour obtenir ainsi une ligne d'étalonnage à circuit ouvert. Elle est utilisée comme ligne de référence de 0 dB pour toutes les mesures.

Lors des mesures très précises, la ligne d'étalonnage à circuit ouvert pourrait s'écarter de quelques dixièmes de décibels par rapport à la vraie ligne d'étalonnage 0 dB, le coefficient de réflexion du connecteur pour l'objet en essai étant faible mais fini. Aussi convient-il d'effectuer un étalonnage supplémentaire, pendant lequel le connecteur pour l'objet en essai est court-circuité. La valeur moyenne des lignes d'étalonnage à court circuit et à circuit ouvert correspond à la vraie ligne d'étalonnage 0 dB.

La réduction par pas du niveau de sortie du générateur de mesure permet de déterminer d'autres lignes d'étalonnage pour des atténuations d'adaptation définies, par exemple de 10 dB, 20 dB, etc.

Lorsqu'un indicateur avec affichage logarithmique est utilisé, tel que le SWOB 5 doté du tiroir E3, on peut déterminer, d'une manière particulièrement simple, une valeur quelconque de l'atténuation d'adaptation à l'aide d'un affichage numérique. Pour augmenter la souplesse de mesure et, par exemple, pour simplifier la comparaison de différents objets en essai, il serait judicieux de compléter le montage de mesure du mémoire numérique d'image BDS de Rohde & Schwarz.

2.3 Conversion

Les indicateurs scalaires usuels avec affichage logarithmique permettent d'évaluer l'atténuation d'adaptation d'un objet en essai en dB. Par conversion, on obtient le module du coefficient de réflexion de l'objet en essai en % et le rapport d'onde stationnaire. Les relations entre les paramètres sont décrites par les expressions suivantes:

où r = le coefficient de réflexion de l'objet en essai
a = l'atténuation d'adaptation en dB
s = le rapport d'onde stationnaire (ROS)

$$a = -20 \lg|r| \qquad |r| = 10^{-0,05 \cdot a}$$

$$s = \frac{1 + |r|}{1 - |r|} \qquad |r| = \frac{s - 1}{s + 1} \qquad (2)$$

La conversion des valeurs mesurées peut être effectuée aisément à l'aide du tableau 1 ou du diagramme 1, qui est en outre imprimé sur l'etui du ZRB 2.

Après avoir évalué le module et la phase du coefficient de réflexion mesuré, l'impédance de l'objet en essai peut être déterminée par la formule (3), où Z_0 est l'impédance caractéristique de référence (p. ex. Z_0 = 50 Ω ou 75 Ω).

$$Z = \frac{1 + r}{1 - r} \cdot Z_0 \qquad (3)$$

L'évaluation graphique de l'impédance de l'objet en essai est possible à l'aide de l'abaque de Smith (voir annexe).

2.4 Estimation des erreurs de mesure

Des erreurs de mesure peuvent être causées par la directivité finie du pont de mesure et par des réflexions au connecteur pour l'objet en essai.

L'équation (1) démontre que la mesure de petits coefficients de réflexion est affectée par la directivité D du pont. La superposition vectorielle du signal utile et du signal parasite généré par la directivité fini du pont donne lieu à l'incertitude de mesure du coefficient de réflexion r de l'objet en essai. Cette relation est représentée en figure 4.

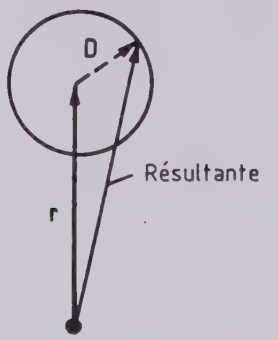


Fig. 4 Superposition vectorielle du signal utile et de la directivité

En raison de l'angle de phase formé par le signal utile r et la directivité D, la résultante, qui est le seul paramètre pouvant être mesuré, peut avoir la valeur limite de $|r| + |D|$ ou $|r| - |D|$. Inversement, la valeur mesurée peut s'écarter de $\pm|D|$ au maximum par rapport à la vraie valeur du coefficient de réflexion.

En représentation logarithmique, les limites d'erreur peuvent être déterminées à l'aide du tableau 2 (voir annexe). Dans le cas limite, où le coefficient de réflexion est aussi faible que la directivité (x = 0 dB en tableau 2), les deux vecteurs sont doublés ou s'annulent. Les erreurs maximales sont donc de +6 dB ou de $-\infty$ dB.

Lors de la mesure de grands coefficients de réflexion, les erreurs de mesure provoquées par la directivité finie du pont sont inférieures à 0,1 dB et sont ainsi négligeables. Dans ce cas les limites d'erreur sont déterminées par le coefficient de réflexion du connecteur pour l'objet en essai. Comme le montre l'équation (1), l'incertitude de mesure la plus grande se produit lorsque l'atténuation d'adaptation mesurée est de 0 dB, ce qui signifie une réflexion totale. Les erreurs maximales sont également précisées au tableau 2. Lorsque l'atténuation d'adaptation d'entrée du connecteur pour l'objet en essai est de 25 dB, les erreurs maximales sont de ±0,5 dB environ lors de la mesure de grands coefficients de réflexion.

Pour la plupart des mesures pratiques, l'atténuation d'adaptation à mesurer sera dans la gamme moyenne. Les erreurs maximales seront donc plus petites que celles dans les deux cas limites considérés. Une description quantitative de cette relation se trouve en annexe (voir diagramme 3).

3 Maintenance

3.1 Appareils de mesure nécessaires

Pour vérifier les caractéristiques du pont de mesure du ROS ZRB 2, un générateur et un indicateur (p. ex. le générateur vobulateur SWP et le Polyskop SWOB 5 de R&S) sont nécessaires. De plus, il faut une terminaison de précision, un connecteur de court-circuit et, pour tester l'adaptation, un deuxième pont de mesure du ROS et une deuxième terminaison.

3.2 Vérification de l'adaptation

Le montage de mesure montré en figure 1 (voir le chapitre 1.1) permet de vérifier l'adaptation sur le connecteur destiné au raccordement de l'objet en essai. Pour effectuer le contrôle, on a besoin d'un second ZRB 2 dont le connecteur TEST est relié, avec un adaptateur ou directement, au connecteur pour l'objet en essai du ZRB 2 à tester. Les deux autres connecteurs du pont à mesurer sont terminés par des résistances à faible réflexion. L'adaptation du connecteur du pont à tester peut ensuite être lue directement, comme dans le cas de tout autre objet en essai.

Lorsqu'un pont de mesure supplémentaire n'est pas disponible, l'adaptation du connecteur pour l'objet de mesure peut être déterminée en mesurant les pertes de transmission sur le pont en essai (voir le chapitre 3.3).

3.3 Vérification de l'atténuation d'insertion

Le montage de la figure 1 est de plus approprié pour la vérification de l'atténuation d'insertion. Enlever d'abord le pont de mesure et puis connecter l'indicateur directement au générateur. Etalonner l'affichage sur 0 dB. Raccorder alors le pont à tester au montage de mesure, comme le montre la figure 1. Le connecteur de l'objet en essai reste libre. Il est maintenant possible de lire l'atténuation d'insertion.

Si le connecteur pour l'objet en essai est court-circuité, l'atténuation d'insertion mesurée varie légèrement à cause de l'adaptation insuffisante du pont de mesure. La valeur d'adaptation S au point de mesure du pont correspond aux caractéristiques techniques données, à condition que la différence 1 ± x (voir page 25, table 2) entre les résultats de mesure à circuit ouvert et ceux obtenus en court-circuit ne soit pas supérieure aux valeurs données dans la table suivante:

S	1 ± x
26 dB	0,9 dB
23 dB	1,3 dB
22 dB	1,4 dB
20 dB	1,8 dB
18 dB	2,2 dB

3.4 Vérification de la directivité

Le montage de mesure de la figure 1 se prête également à la vérification de la directivité. Après l'étalonnage 0 dB, raccorder une terminaison de précision; pendant ce procédé, le connecteur pour l'objet en essai doit être à circuit ouvert. Compte tenu du coefficient de réflexion de cette terminaison, on obtient l'affichage de la directivité du pont de mesure.

Ainsi il est possible de détecter une diminution importante éventuelle de la directivité. Dans le cas d'un bon fonctionnement du pont toutefois la directivité n'est pas mesurable de cette façon, surtout dans la gamme de fréquence supérieure, les terminaisons ne pouvant pas être fabriquées avec la précision exigée.

4 Description

4.1 Principe d'un coupleur résistif

Les circuits à large bande d'un réflectomètre ne peuvent pas être réalisés avec les coupleurs directionnels habituels, tels que coupleurs de ligne, parce que ceux-ci présentent une largeur de bande de quelques octaves seulement. L'utilisation de coupleurs résistifs cependant permet d'obtenir de très grandes largeurs de bande. La gamme de fréquence du pont de mesure du ROS ZRB 2, par exemple, va de 5 MHz à 2,5 GHz, ce qui correspond à une largeur de bande de 9 octaves.

Le circuit de base du coupleur résistif (voir fig. 5) est similaire au pont de Wheatstone.

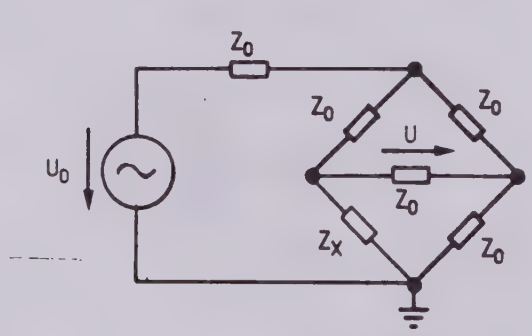


Fig. 5 Schéma de principe du coupleur résistif

Dans ce circuit, l'impédance inconnue Z_X est comparée avec l'impédance de référence Z_0. Contrairement au pont de Wheatstone, la tension de déséquilibre U présente sur la diagonale du pont n'est pas réglée à zéro, mais elle est mesurée et puis évaluée. La tension U est décrite par l'équation suivante.

$$U = \frac{1}{8} \cdot \frac{Z_X - Z_0}{Z_X + Z_0} \cdot U_0 \qquad (4)$$

Il ressort de là que la tension U présente une mesure du module et de la phase du coefficient de réflexion

$$r = \frac{Z_X - Z_0}{Z_X + Z_0}$$

de l'objet en essai Z_X.

4.2 Conception du pont de mesure

Le pont de mesure du ROS ZRB 2 est constitué par les trois résistances Z_0 (en trait gras) de la figure 5. L'impédance Z_0 sur la diagonale du pont est l'impédance interne de l'indicateur et, comme l'impédance Z_0 de la source, n'est pas un élément constitutif du pont. La source de signaux, l'indicateur et l'objet en essai peuvent être reliés au ZRB 2 à l'aide de connecteurs N femelles coaxiaux. Afin qu'aucun bras du pont ne soit court-circuité, la tension de déséquilibre doit être prélevée d'une manière symétrique par rapport à la terre. A cette fin, le symétriseur montré sur la figure 6 est prévu. Il est constitué d'un câble coaxial dont les conducteurs intérieur et extérieur sont connectés aux points gauche et droit respectivement de la diagonale du pont.

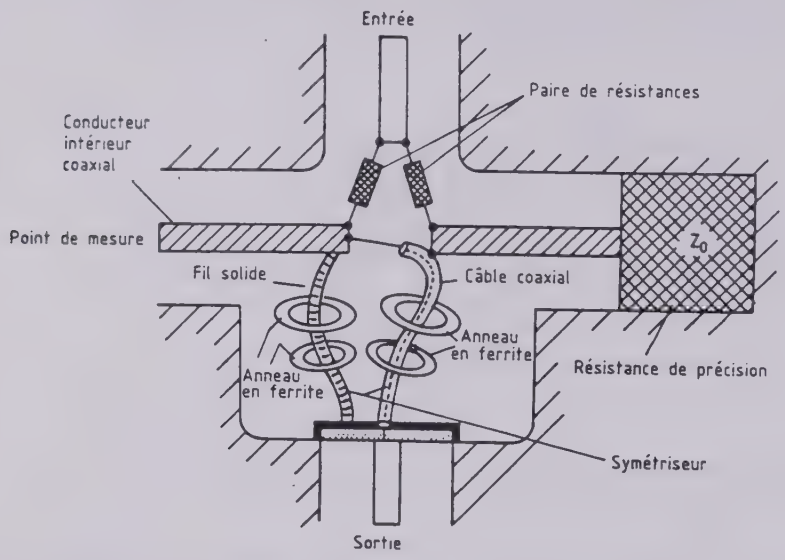


Fig. 6 Schéma du pont .

Des anneaux en ferrite (FK) déterminant la limite de fréquence inférieure empêchent la mise à la terre du point de connexion droit de la diagonale du pont via le conducteur extérieur du câble coaxial. Pour atteindre une grande largeur de bande, deux types différents en ferrite sont utilisés dans le ZRB 2. L'impédance du conducteur extérieur du câble coaxial n'est pourtant pas infiniment haute, ce qui résulte en une asymétrie du pont et par conséquent en une détérioration de la directivité. Pour éviter ceci, il faut équilibrer le pont par le montage d'un fil solide, doté d'anneaux en ferrite, au point gauche de la diagonale du pont. Cette construction simule l'impédance du conducteur extérieur du câble coaxial et amène ainsi l'équilibrage du pont. Les deux anneaux en ferrite sur le simulateur sont également de type différent. Afin d'obtenir une qualité supérieure du pont de mesure, c'est-à-dire une directivité élevée, le câble coaxial et le simulateur devraient être conçus de façon conjuguée.

L'inconvénient apporté par le simulateur est la réduction de l'impédance d'entrée du connecteur pour l'objet en essai. Cet effet toutefois peut être éliminé par un choix approprié des résistances tracées en trait gras sur la figure 5. On peut aisément démontrer de manière analytique que la valeur Z_0 n'est pas exigée pour toutes les trois résistances, mais qu'il suffit de rendre les deux résistances supérieures aussi égales que possible et de ne prévoir qu'une seule résistance de précision Z_0 (voir fig. 6). Dans le cas du ZRB 2, les valeurs des résistances supérieures dépassent Z_0. Ainsi, la diminution de l'impédance provoquée par le simulateur est neutralisée, ce qui assure une bonne adaptation du connecteur pour l'objet en essai sans affecter la directivité du pont. La résistance de précision Z_0 étant réalisée en technique couche mince, une impédance de 50 Ω ou de 75 Ω aussi réelle que possible peut être atteinte dans toute la gamme de fréquence du ZRB 2.

5 Dépannage

Pour assurer l'observation des données techniques du ZRB 2, il convient de faire effectuer toute réparation à l'usine. A cette fin, veuillez vous adresser à la représentation R&S la plus proche.

6 Annexe

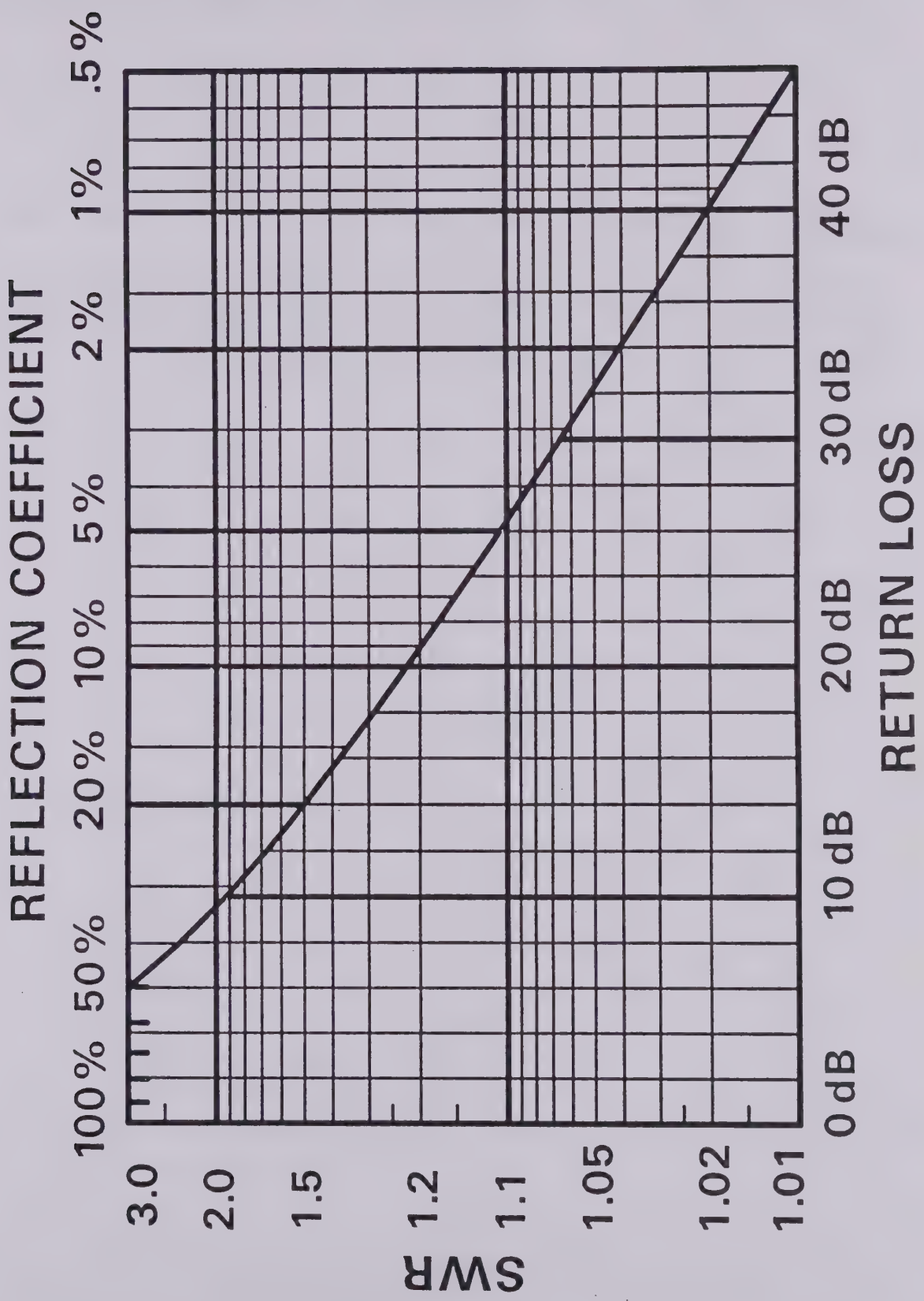
6.1 Tableau et diagramme de conversion

Le tableau 1 montre la relation entre le module du coefficient de réflexion r de l'objet en essai, exprimé en %, l'atténuation d'adaptation a en dB et le rapport d'onde stationnaire ROS. La représentation graphique de cette relation est donnée au diagramme 1. Les formules de conversion sont décrites au chapitre 2.3 (voir équation (2)).

Tableau 1: Conversion des paramètres

Coefficient de réflexion |r| en %	Atténuation d'adaptation a	Rapport d'onde stationnaire ROS
100.0000	0 dB	∞
89.1251	1 dB	17.3910
79.4328	2 dB	8.7242
70.7946	3 dB	5.8480
63.0957	4 dB	4.4194
56.2341	5 dB	3.5698
50.1187	6 dB	3.0095
44.6684	7 dB	2.6146
39.8107	8 dB	2.3229
35.4813	9 dB	2.0999
31.6228	10 dB	1.9250
28.1838	11 dB	1.7849
25.1189	12 dB	1.6709
22.3872	13 dB	1.5769
19.9526	14 dB	1.4985
17.7828	15 dB	1.4326
15.8489	16 dB	1.3767
14.1254	17 dB	1.3290
12.5893	18 dB	1.2880
11.2202	19 dB	1.2528
10.0000	20 dB	1.2222
8.9125	21 dB	1.1957
7.9433	22 dB	1.1726
7.0795	23 dB	1.1524
6.3096	24 dB	1.1347
5.6234	25 dB	1.1192
5.0119	26 dB	1.1055
4.4668	27 dB	1.0935
3.9811	28 dB	1.0829
3.5481	29 dB	1.0736
3.1623	30 dB	1.0653
2.8184	31 dB	1.0580
2.5119	32 dB	1.0515
2.2387	33 dB	1.0458
1.9953	34 dB	1.0407
1.7783	35 dB	1.0362
1.5849	36 dB	1.0322
1.4125	37 dB	1.0287
1.2589	38 dB	1.0255
1.1220	39 dB	1.0227
1.0000	40 dB	1.0202
0.8913	41 dB	1.0180
0.7943	42 dB	1.0160
0.7079	43 dB	1.0143
0.6310	44 dB	1.0127
0.5623	45 dB	1.0113
0.5012	46 dB	1.0101

Diagramme 1: Conversion des paramètres



6.2 Abaque de Smith

La relation entre l'impédance Z d'un objet en essai et son coefficient de réflexion r est définie par l'équation (3) du chapitre 2.3, a savoir:

$$Z = \frac{1 + r}{1 - r} \cdot Z_0$$

où Z_0 est l'impédance caractéristique de référence (p. ex. Z_0 = 50 Ω ou 75 Ω).

Cette relation est graphiquement représentée par l'abaque de Smith, au moyen duquel on peut aisément déterminer l'impédance Z de l'objet en essai après avoir mesuré son coefficient de réflexion r en module et en phase (voir diagramme 2).

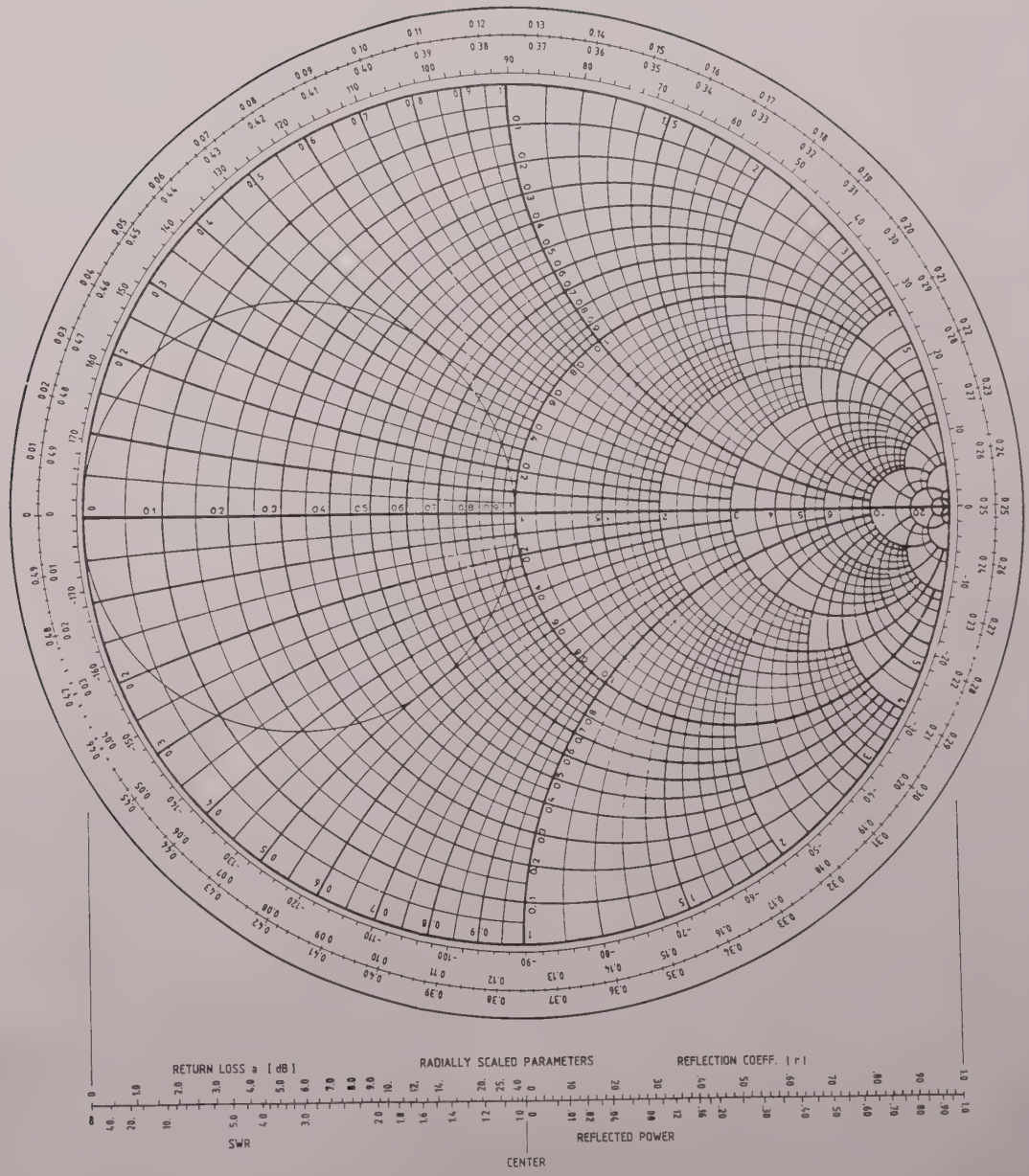


Diagramme 2: Abaque de Smith

6.3 Estimation des erreurs

Comme déjà indiqué au chapitre 2.4, la détermination du coefficient de réflexion d'un objet en essai implique des erreurs dues à la directivité finie du pont de mesure. Le tableau 2 permet de déterminer les erreurs de mesure maximales en fonction du coefficient de réflexion à mesurer et de la directivité du ZRB 2.

Les valeurs données en ce tableau sont normalisées au coefficient de réflexion à mesurer. La quatrième colonne contient les valeurs en dB indiquant la différence entre la directivité du pont et l'atténuation d'adaptation à mesurer. Les deux colonnes qui suivent indiquent les limites d'erreur, dans lesquelles se trouve la vraie valeur de l'atténuation d'adaptation. La dernière colonne comprend la gamme de ces erreurs en dB. Pour plus de clarté, les relations entre le rapport d'onde stationnaire, le coefficient de réflexion et l'atténuation d'adaptation ont été précisées encore une fois.

Le diagramme 3 permet une évaluation quantitative des erreurs maximales en fonction de l'atténuation d'adaptation mesurée. Les courbes représentent les différences positive et négative maximales entre la valeur mesurée et la vraie valeur de l'atténuation d'adaptation. Outre la directivité finie du pont de mesure, le coefficient de réflexion d'entrée du connecteur pour l'objet en essai a été pris en considération. Il faut tenir compte du fait qu'il s'agit ici des valeurs limites du ZRB 2. Pour les fréquences moyennes du pont de mesure, la directivité est plus élevée que la valeur donnée. L'incertitude de mesure en résultant est inférieure aux valeurs limites représentées au diagramme 3.

Tableau 2:

ROS	|r|	a [dB]	x [dB]	1 + x [dB]	1 - x [dB]	1 ± x [dB]
∞	1.0000	0	0	6.0206	- ∞	∞
17.3910	.8913	1	1	5.5350	-19.2715	24.8065
8.7242	.7943	2	2	5.0780	-13.7365	18.8145
5.8480	.7079	3	3	4.6495	-10.6907	15.3402
4.4194	.6310	4	4	4.2489	-8.6585	12.9073
3.5698	.5623	5	5	3.8755	-7.1773	11.0528
3.0095	.5012	6	6	3.5287	-6.0412	9.5699
2.6146	.4467	7	7	3.2075	-5.1405	8.3480
2.3229	.3981	8	8	2.9108	-4.4096	7.3204
2.0999	.3548	9	9	2.6376	-3.8063	6.4439
1.9250	.3162	10	10	2.3866	-3.3018	5.6884
1.7849	.2818	11	11	2.1567	-2.8756	5.0322
1.6709	.2512	12	12	1.9465	-2.5126	4.4590
1.5769	.2239	13	13	1.7547	-2.2013	3.9561
1.4985	.1995	14	14	1.5802	-1.9331	3.5133
1.4326	.1778	15	15	1.4216	-1.7007	3.1224
1.3767	.1585	16	16	1.2778	-1.4988	2.7766
1.3290	.1413	17	17	1.1476	-1.3227	2.4703
1.2880	.1259	18	18	1.0299	-1.1687	2.1986
1.2528	.1122	19	19	.9237	-1.0337	1.9574
1.2222	.1000	20	20	.8279	-.9151	1.7430
1.1957	.0891	21	21	.7416	-.8108	1.5524
1.1726	.0794	22	22	.6639	-.7189	1.3828
1.1524	.0708	23	23	.5941	-.6378	1.2319
1.1347	.0631	24	24	.5314	-.5661	1.0975
1.1192	.0562	25	25	.4752	-.5027	.9779
1.1055	.0501	26	26	.4248	-.4466	.8714
1.0935	.0447	27	27	.3796	-.3969	.7765
1.0829	.0398	28	28	.3391	-.3529	.6919
1.0736	.0355	29	29	.3028	-.3138	.6166
1.0653	.0316	30	30	.2704	-.2791	.5495
1.0580	.0282	31	31	.2414	-.2483	.4897
1.0515	.0251	32	32	.2155	-.2210	.4365
1.0458	.0224	33	33	.1923	-.1967	.3890
1.0407	.0200	34	34	.1716	-.1751	.3467
1.0362	.0178	35	35	.1531	-.1558	.3090
1.0322	.0158	36	36	.1366	-.1388	.2753
1.0287	.0141	37	37	.1218	-.1236	.2454
1.0255	.0126	38	38	.1087	-.1100	.2187
1.0227	.0112	39	39	.0969	-.0980	.1949
1.0202	.0100	40	40	.0864	-.0873	.1737
1.0180	.0089	41	41	.0771	-.0778	.1548
1.0160	.0079	42	42	.0687	-.0693	.1380
1.0143	.0071	43	43	.0613	-.0617	.1230
1.0127	.0063	44	44	.0546	-.0550	.1096
1.0113	.0056	45	45	.0487	-.0490	.0977
1.0101	.0050	46	46	.0434	-.0436	.0871
1.0090	.0045	47	47	.0387	-.0389	.0776
1.0080	.0040	48	48	.0345	-.0346	.0692
1.0071	.0035	49	49	.0308	-.0309	.0616
1.0063	.0032	50	50	.0274	-.0275	.0549
1.0057	.0028	51	51	.0244	-.0245	.0490
1.0050	.0025	52	52	.0218	-.0218	.0436
1.0045	.0022	53	53	.0194	-.0195	.0389
1.0040	.0020	54	54	.0173	-.0173	.0347
1.0036	.0018	55	55	.0154	-.0155	.0309
1.0032	.0016	56	56	.0138	-.0138	.0275
1.0028	.0014	57	57	.0123	-.0123	.0245
1.0025	.0013	58	58	.0109	-.0109	.0219
1.0022	.0011	59	59	.0097	-.0098	.0195
1.0020	.0010	60	60	.0087	-.0087	.0174

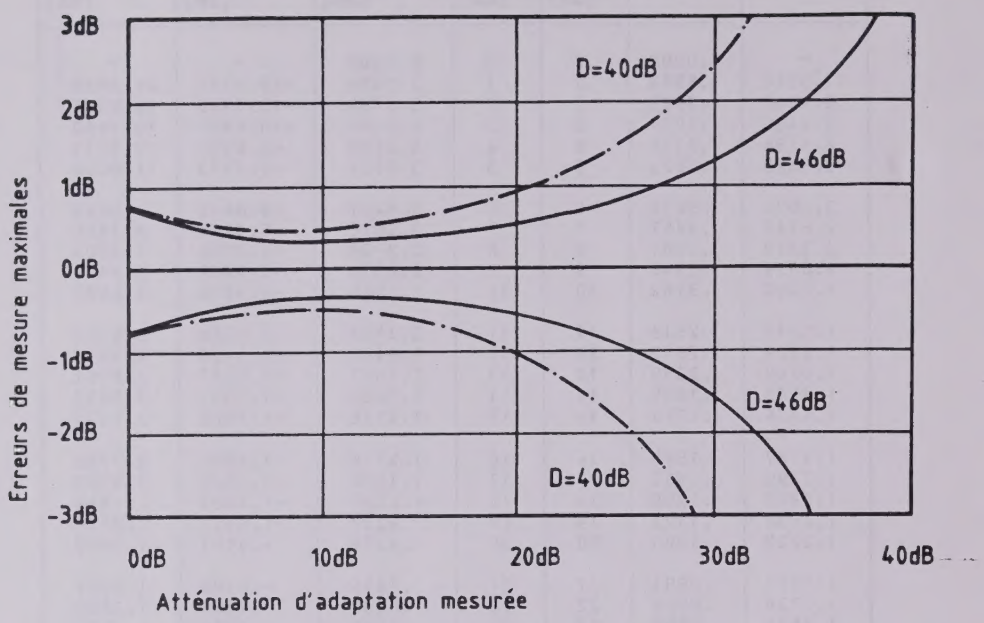


Diagramme 3: Erreurs de mesure
Courbe en trait plein: D = 46 dB
Courbe interrompue: D = 40 dB